

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**

**ТАВРІЙСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ДМИТРА МОТОРНОГО**

# **МЕХАНІЧНІ ВИПРОБУВАННЯ МАТЕРІАЛІВ**

*Навчально – методичний посібник  
для виконання лабораторних робіт  
з дисципліни «Технічна механіка»*

(Частина 1)



**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ТАВРІЙСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ  
АГРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ДМИТРА МОТОРНОГО**

## **МЕХАНІЧНІ ВИПРОБУВАННЯ МАТЕРІАЛІВ**

**Навчально – методичний посібник  
для виконання лабораторних робіт  
з дисципліни «Технічна механіка»**

**для здобувачів ступеня вищої освіти «Бакалавр»  
спеціальності 263 «Цивільна безпека»**

**(Частина 1)**

**Мелітополь  
2020**

УДК 531(075.8)  
А72

Автори: ст. викладач Г.В. Антонова, доцент О.О. Вершков,  
доцент Л.Ю. Бондаренко, ст. викладач А.П. Чаплінський

Рекомендовано Вченою радою факультету агротехнологій та екології  
Таврійського державного агротехнологічного університету імені  
Дмитра Моторного  
(Протокол № 8 від «15» травня 2020 р)

Рецензенти:

**С.М. Коломієць** – к.т.н., доцент кафедри «Технічна механіка  
та комп'ютерні технології ім. професора В.М. Найдиша»;

**В.Ф. Мовчан** – к.т.н., доцент кафедри «Машиновикористання  
в землеробстві»

Антонова Г.В.

А72 Механічні випробування матеріалів: навчально – методичний  
посібник для виконання лабораторних робіт (Частина 1) /  
Г.В.Антонова, О.О. Вершков, Л.Ю.Бондаренко, А.П. Чаплінський. –  
Мелітополь: ТДАТУ, 2020. – 112с.

Навчальний - методичний посібник складається з двох частин. У  
першій частині містяться лабораторні роботи, присвячені механічним  
випробуванням матеріалів, розглянуті сучасні експериментальні  
методи дослідження напружень і деформацій в елементах конструкцій  
при статичному навантаженні. У другій частині містяться лабораторні  
роботи з випробувань елементів деталей машин. У посібнику в  
короткій формі надані основні теоретичні положення, опис та порядок  
виконання всіх лабораторних робіт, контрольні питання до них і  
вимоги по техніці безпеки.

Зміст видання відповідає освітньо-професійній програмі  
підготовки бакалаврів зі спеціальностей: 263 «Цивільна безпека»  
(галузевий стандарт вищої освіти України ГСВО ОПП) та програмі  
навчальної дисципліни «Технічна механіка».

УДК 531(075.8)

© Антонова Г.В., Вершков О.О.,  
Бондаренко Л.Ю., Чаплінський А.П.  
© ТДАТУ, 2020

## **ЗМІСТ**

<b>Передмова</b>	<b>4</b>
<b>Частина 1 Механічні випробування матеріалів</b>	<b>5</b>
Лабораторна робота №1 <b>Визначення опорних реакцій балок</b>	<b>7</b>
Лабораторна робота №2 <b>Випробування мало вуглецевої сталі на розтяг. Механічні характеристики міцності та пластичності</b>	<b>27</b>
Лабораторна робота №3 <b>Випробування на стиск сталі, чавуну і дерева</b>	<b>46</b>
Лабораторна робота №4 <b>Випробування сталі та чавуну на кручення</b>	<b>64</b>
Лабораторна робота №5 <b>Визначення трьох пружних сталих величин <math>E</math>, <math>G</math>, <math>\mu</math></b>	<b>79</b>
Лабораторна робота №6 <b>Експериментальна перевірка закону розподілу нормальних напружень по висоті перерізу балки</b>	<b>95</b>
<b>Список рекомендованої літератури</b>	<b>111</b>

## ПЕРЕДМОВА

Створення нових, більш досконалих машин і споруд, застосування нових матеріалів, що володіють специфічними властивостями, вимагають від сучасного інженера глибоких знань з теорії міцності. Основи розрахунків на міцність вивчаються в курсі прикладної механіки. Поряд з методами розрахунку напружень і деформацій велика увага приділяється лабораторним роботам, і особливо - експериментальним методам дослідження міцності конструкцій. Експеримент необхідний, перш за все, для дослідження механічних властивостей матеріалів і отримання характеристик, що використовуються в розрахунках на міцність.

Наявність припущень і гіпотез вимагає перевірки розроблених на їх основі розрахункових методів. Крім того, при особливо складній конфігурації елемента конструкції, особливих умовах роботи, коли розробка теоретичних розрахункових методів утруднена, експериментальні методи дослідження деформацій і напружень, натурні та інші випробування виходять на перший план. Знання теорії в цьому випадку дає можливість правильно поставити експеримент, обробити його результати і зробити висновки.

На лабораторних заняттях повинні бути розглянуті наступні завдання експериментальних досліджень в галузі міцності: визначення механічних характеристик матеріалів, дослідна перевірка формул прикладної механіки, освоєння сучасних експериментальних методів досліджень деформацій і напружень.

Посібник складається з двох частин. У першій частині викладено зміст лабораторних робіт, присвячених визначенню механічних властивостей матеріалів. У другій частині містяться роботи, пов'язані з випробуваннями елементів деталей машин.

## **ЧАСТИНА 1**

### **МЕХАНІЧНІ ВИПРОБУВАННЯ МАТЕРІАЛІВ**

Перша частина посібника присвячена дослідженню механічних властивостей і вивченню основних механічних характеристик матеріалів. Механічні властивості матеріалів характеризують їх здатність чинити опір деформації і руйнування під дією зовнішніх сил і інших впливів. До основних механічних властивостей матеріалів відносяться: міцність, пружність і пластичність. Міцністю називають здатність матеріалу чинити опір руйнуванню і утворення залишкових деформацій, пружністю - здатність матеріалу відновлювати свою форму і розміри після припинення дії зовнішніх сил, пластичністю - здатність матеріалу отримувати залишкові деформації.

Механічні властивості матеріалів характеризуються рядом величин, які називаються механічними характеристиками. У представлених лабораторних роботах визначаються характеристики статичної міцності (границя пропорційності, границя текучості, тимчасовий опір), характеристики пластичності (відносне залишкове подовження і відносне звуження після розриву), а також розглядається поведінка пластичних і крихких матеріалів при розтягуванні, стиску та крученні.

Частина механічних характеристик, що визначаються в даному розділі, відносяться до числа основних, які використовуються в інженерних розрахунках.

Для виконання робіт першої частини посібника необхідно ознайомитися з принципами дії та пристроєм випробувальних машин, приладів, пристосувань. Короткий опис випробувальних машин і приборів наданий у відповідних роботах.

Різноманіття умов експлуатації та обробки матеріалів зумовлює необхідність проведення великого числа механічних випробувань, які можна класифікувати за різними принципами. За характером зміни діючих на зразок навантажень розрізняють статичні, динамічні і втомні випробування. Статичні випробування характеризуються плавним, відносно повільним (тривалістю від декількох секунд до хвилини) зростанням навантаження на зразок від нуля до деякої максимальної величини і, відповідно, малою швидкістю деформації зразка. Залежно від схеми прикладання навантаження до зразка розрізняють наступні статичні випробування: одновісне розтягнення, одновісний, згин, кручення, розтяг. Найбільш важливими випробуваннями є ті, при яких в зразку створюється однорідний напружений стан (одновісне розтяг, одновісний стиск, кручення). При таких випробуваннях визначають основні механічні характеристики матеріалу.

## Лабораторна робота №1

### ВИЗНАЧЕННЯ ОПОРНИХ РЕАКЦІЙ БАЛОК

#### Методичні вказівки до лабораторної роботи №1

**МЕТА РОБОТИ** - дослідження балки, що знаходиться на двох опорах, одна з яких (ліва) шарнірно - нерухома, а інша (права) шарнірно - рухлива. Придбання навичок в практичному визначенні реакцій

#### 1 ВКАЗІВКИ З САМОПІДГОТОВКИ ДО РОБОТИ

##### 1.1 Завдання для самостійної підготовки

Під час підготовки до роботи студент повинен з'ясувати що таке в'язь, реакція в'язі, які реакції виникають в різних типах в'язей. Що таке сила та параметри, що характеризують силу, як визначаються проекції сили на вісь та площину, як визначається сила за її проекціями, як знайти аналітично рівнодійну сили. Скласти рівняння рівноваги для плоскої системи сил. Для чого потрібно визначати опорні реакції.

##### 1.2 Питання для самопідготовки

- 1.2.1 Що вивчає теоретична механіка?
- 1.2.2 Що вивчає статика? Задачі статички.
- 1.2.3 Що таке сила? Назвіть три параметри, що характеризують силу?
- 1.2.4 Як формулюються аксіоми статички?
- 1.2.5 В якому випадку матеріальне тіло буде вільним?
- 1.2.6 Що таке в'язь і що таке реакція в'язі?
- 1.2.7 Які основні типи в'язей зустрічаються при розв'язуванні задач статички і які напрями мають ці реакції?
- 1.2.8 Як визначається крутильний момент  $M$ ?
- 1.2.9 В яких одиницях вимірюється сила  $F$ ?
- 1.2.10 В яких випадках напрямок крутильного моменту  $M$  приймають додатним?
- 1.2.11 В яких випадках напрямок крутильного моменту  $M$  приймають від'ємним?
- 1.2.12 В яких випадках напрямок сили  $F$  приймають додатним?



1.2.13 В яких випадках напрямок сили  $F$  приймають від'ємним?

1.2.14 В якому випадку проекція сили  $F$  на вісь дорівнює нулю?

1.2.15 В якому випадку проекція сили  $F$  на вісь дорівнює її натуральній величині?

1.2.16 Як знайти зосереджену силу ( $R$ ) для розподіленого зовнішнього навантаження( $q$ ) діючого на довжині ( $l$ ) ?

1.2.17 Які умови і які рівняння рівноваги системи збіжних сил?

### **1.3 Рекомендована література**

1 Булгаков В.М., Литвинов О.І., Войтюк Д.Г. Інженерна механіка (Частина I. Теоретична механіка). / За заг. редакцією В.М. Булгакова. Підручник. – Вінниця: Нова книга, 2006. – 504 с.

## **2 ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ РОБОТИ**

### **2.1 Програма роботи**

- дати формулювання поняття „в'язь”;
- дати формулювання поняття „реакція в'язі”;
- назвати основні типи в'язей, які зустрічаються при розв'язуванні задач статки і які напрями мають ці реакції;
- дати формулювання поняття „сила”;
- дати формулювання поняття „момент пари сил”;
- звільнити балку від яких - або навантажень;
- виставити прилади на нуль;
- вивчити завдання та конструкцію установки;
- навантажити балку так, як вимагає завдання варіанту, ці виміри занести в таблицю;
- записати свідчення приладів;
- виробити теоретичний розрахунок балки;
- порівняти результати, отримані в експерименті з результатами розрахунку;
- визначити погрішність;
- відповісти на контрольні запитання;
- захистити лабораторну роботу у викладача.

## 2.2 Оснащення робочого місця

### 2.2.1 Методичні вказівки

### 2.2.2 Наочні стенди, навчальна та технічна література

## 2.3 Теоретичні відомості

**Статикою** називається розділ механіки, що вивчає питання про системи сил та умови рівноваги тіл, які знаходяться під дією цих сил.

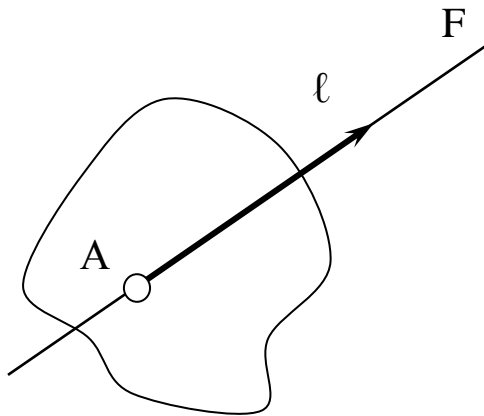


Рисунок 1.1 - Лінія дії сили

Сила є величина векторна, її дія на тіло визначається (рисунок 1.1):

- чисельною величиною (модулем) сили,
- напрямком,
- точкою прикладення сили (т. А).

Позначається символом  $\vec{F}$ , вимірюється в Ньютонах (Н) або в кілоНьютонах (кН). ( $1 \text{ кг} \approx 10 \text{ Н}$ ).

Сили бувають зовнішніми, які діють на елементи конструкції зовні та внутрішніми – сили взаємодії між молекулами елементів конструкції; зосередженими, дія яких зосереджена в точці (рисунок 1.2) та розподіленими, які прикладені безперервно на деякий довжині (рисунок 1.3).

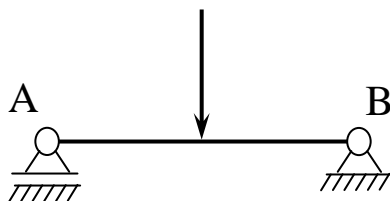


Рисунок 1.2 – Зосереджена сила

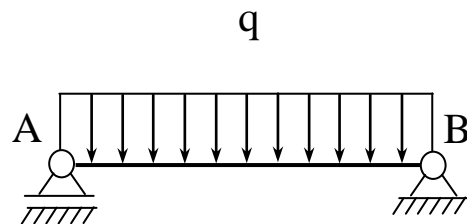


Рисунок 1.3 – Розподілене навантаження

На практиці, розв'язуючи ті чи інші задачі, головним чином зустрічаються з невідільними матеріальними системами, тобто з такими системами, на які діють в'язі.

**В'яззю** називається тіло або сукупність тіл, які обмежують рух даної матеріальної системи.

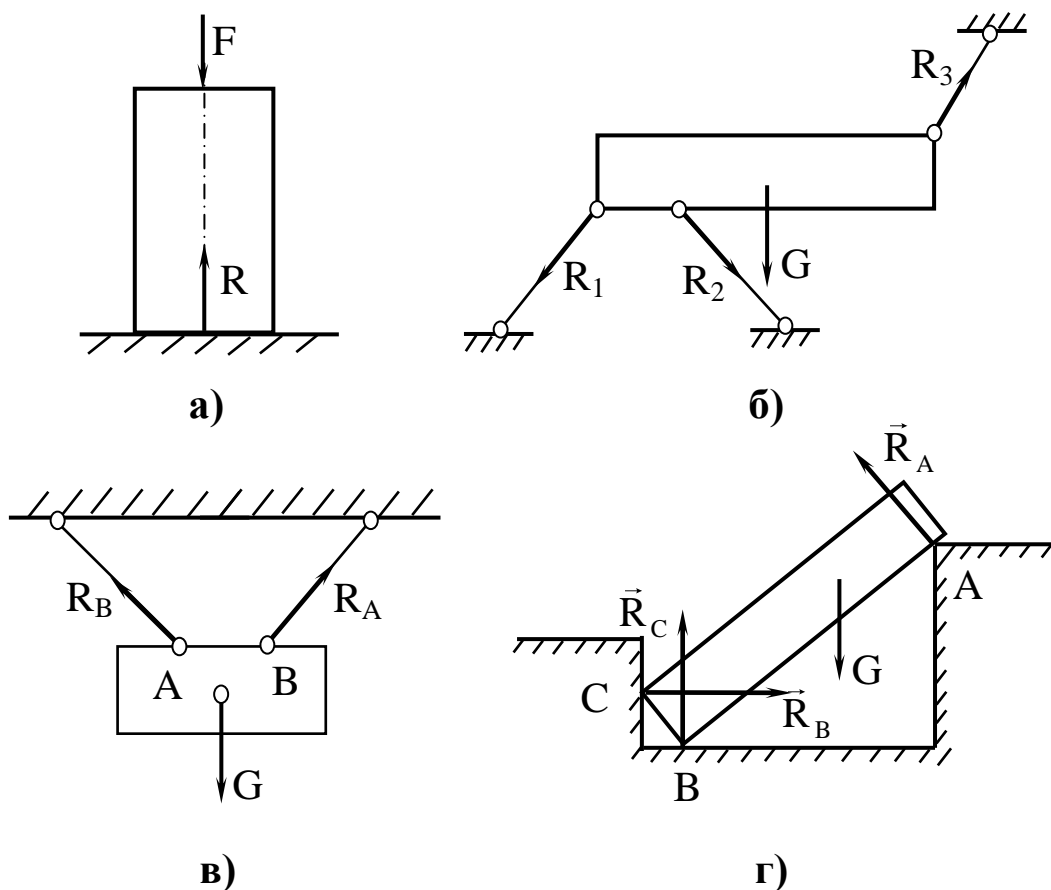
Сила, з якою в'язь діє на матеріальну систему, обмежуючи її рух в тому чи іншому напрямі, називається силою реакції або просто **реакцією в'язі** (позначається символом  $R$ ).

Напрямок реакції в'язі завжди протилежний напрямку, в якому в'язь перешкоджає руху матеріальної системи.

Для визначення реакцій в'язей використовують принцип звільнення від в'язей. Не змінюючи рівноваги тіла, кожен в'язь можна відкинути, замінивши її реакцією.

### 2.3.1 Основні види в'язей

**Гладка поверхня** (рисунок 1.4а). У цьому випадку реакція в'язі завжди спрямована по нормалі до опорної поверхні.



а) - гладка поверхня; б) - зв'язок у вигляді твердого прямого стержня із шарнірним закріпленням кінців; в) - гнучкий зв'язок; г) - зв'язок, здійснюваний ребром двогранного кута або в точці

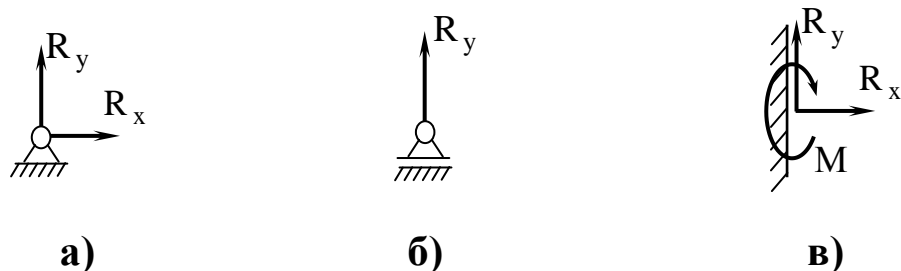
Рисунок 1.4 – Основні види зв'язків

**Зв'язок у вигляді твердого прямого стержня із шарнірним закріпленням кінців** (рисунок 1.4б). Реакції  $\vec{R}_1$ ,  $\vec{R}_2$  і  $\vec{R}_3$  завжди спрямовані уздовж стержнів. Стержні при цьому можуть бути як розтягнутими, так і стиснутими.

**Гнучкий зв'язок, що здійснюється мотузкою, тросом або ланцюгом** (рисунок 1.4в). Реакції гнучких зв'язків  $\vec{R}_A$  і  $\vec{R}_B$  спрямовані уздовж зв'язків, причому гнучка нитка може працювати тільки на розтяг.

**Зв'язок, здійснюваний ребром двогранного кута або в точці** (рисунок 1.4 г). Реакція такого зв'язку  $\vec{R}_1$  або  $\vec{R}_2$  спрямована перпендикулярно до поверхні тіла, що опирається.

Звернемо увагу на найбільш поширені типи в'язей: шарнірно-нерухома опора (рисунок 1.5а), шарнірно-рухома опора (рисунок 5б), жорстке закріплення (рисунок 5в)



а) - шарнірно-нерухома опора, б) - шарнірно-рухома опора, в) - жорсткий закріп

Рисунок 1.5 – Схеми опор та складові їх реакцій

### 2.3.2 Проекції сили на осі

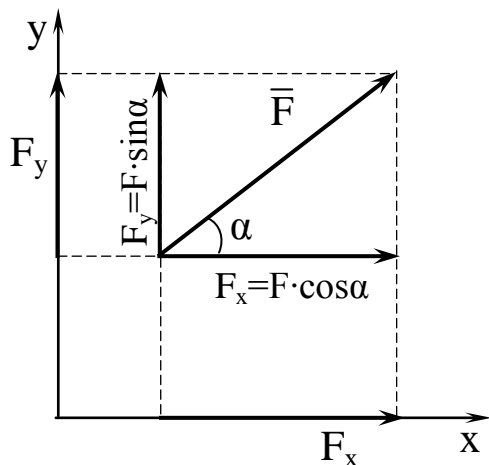


Рисунок 1.6 - Проекції сили на вісь

Проекцією сили  $\vec{F}$  на вісь називається відрізок осі, що знаходиться між двома перпендикулярами, які проведені до осі через початок та кінець вектора сили.

Проекції сили можуть бути обчислені (рисунок 1.6):

$$F_x = F \cdot \cos \alpha ; \quad F_y = F \cdot \sin \alpha, \quad (1.1)$$

Проекція сили, яка співпадає з напрямком осі, вважається позитивною (+), а яка не співпадає з напрямком осі вважається негативною (-).

### 2.3.3 Плоска система сил. Момент сили. Пара сил

Якщо на тіло діє система сил, лінії дії яких знаходяться в одній площині, то така система сил називається **плоскою**.

Найпростішими видами дії на тіло є одна сила і пара сил.

Дія сили на тіло характеризується її чисельним значенням, лінією дії і напрямком. Крім того, у випадку закріпленого тіла (в одній або декількох точках) вводиться поняття **моменту сили** відносно точки.

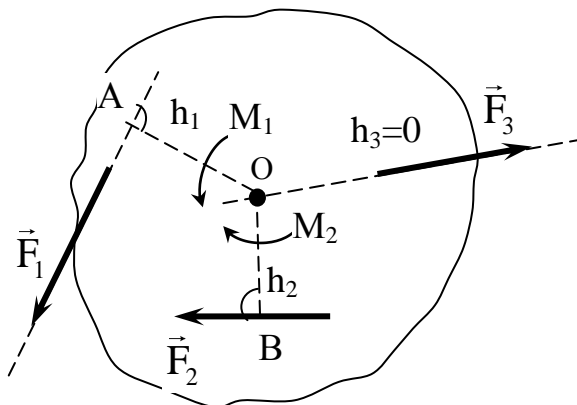


Рисунок 1.7 – Визначення моменту

Момент сили відносно точки характеризує обертаюча дія сили відносно цієї точки. Його визначають як добуток сили  $F$  на довжину перпендикуляра  $h$ , опущеного з цієї точки на лінію дії сили (рисунок 1.7). Довжину цього перпендикуляра

для стислості називають **плечем** сили відносно точки

Таким чином, формулу для визначення моменту сили можна записати:

$$M_O = F_i \cdot h_i, \quad (1.2)$$

де індекс „O” позначає точку, що називають центром моменту;

$h_i$  – плече сили  $F_i$ .

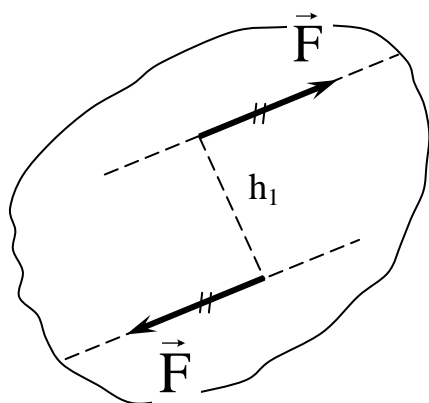
Момент сили вважають позитивним, якщо сила намагається обертати тіло за ходом стрілки годинника ( $M_2 = F_2 \cdot h_2$ ), і негативним – якщо проти ходу стрілки годинника ( $M_1 = -F_1 \cdot h_1$ ).

Момент сили відносно точки дорівнює нулю ( $M_3 = 0$ ), якщо точка лежить на лінії дії даної сили. В цьому випадку плече сили  $\vec{F}_3$  дорівнює нулю (рисунок 7).

Момент сили вимірюють в ньютонах помножених на метри (Н·м)

Дві рівні та паралельні сили, які не лежать на одній прямій і спрямовані в протилежні сторони називаються **парою сил** (рисунок 1.8).

Площина, у якій діє пара сил, називається площиною пари.



Пара сил не має рівнодіючої і може бути замінена тільки іншою еквівалентною парою сил. Сума проєкцій сил, що утворюють пару, на будь-яку координатну вісь дорівнює нулю.

Довжина перпендикуляра, що з'єднує лінії дії рівних, рівнобіжних і протилежно спрямованих сил, називається **плечем пари сил**.

Рисунок 1.8 – Пара сил

Момент пари дорівнює добутку однієї з її сил на плече. Знак моменту визначають за правилом моменту сили відносно точки. Пара сил надає тілу обертальний рух.

Момент пари з урахуванням напрямку обертання цілком характеризує дію пари сил на тверде тіло.

Пара сил має наступні властивості:

- дія пари сил на тіло не зміниться, якщо пару перенести в площині її дії в будь-яке інше положення;
- дві пари сил, що лежать в одній площині, еквівалентні, якщо їхні моменти рівні.

У статиці вирішують дві основні задачі:

- 1) складну систему сил замінюють більш простою – приводять систему сил до найпростішого виду;
- 2) установлюють, коли тіло під дією даної системи сил знаходиться в рівновазі – складають умови рівноваги.

Для вирішення першої задачі визначають проекції всіх сил системи на координатні осі  $OX$  і  $OY$ , потім обчислюють алгебраїчні суми проекцій на кожну з осей:  $\sum F_{ix}$  і  $\sum F_{iy}$ . Якщо ці суми не дорівнюють нулю, то вони дорівнюють проекціям рівнодіючої на осі:  $R_x = \sum F_{ix}$ ,  $R_y = \sum F_{iy}$ .

Якщо суми проекцій сил на кожну ось дорівнюють нулю, то визначають алгебраїчну суму моментів відносно якої-небудь точки  $\sum M_i = \sum F_i \cdot h_i$ . Ця сума є головним моментом системи.

Розглянемо всі можливі випадки приведення плоскої системи сил до найпростішого виду.

1. Суми проекцій сил на осі не дорівнюють нулю:

$\sum F_{ix} \neq 0$ ,  $\sum F_{iy} \neq 0$ . Система має рівнодіючу:  $R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2}$ .

2. Обидві суми проекцій на осі  $OX$  і  $OY$  дорівнюють нулю:  $\sum F_{ix} = 0$ ,  $\sum F_{iy} = 0$ . Головний момент системи не дорівнює нулю:  $\sum M_i \neq 0$ . Система еквівалентна парі сил - момент цієї пари дорівнює головному моменту системи.

3. Суми проекцій сил на осі і головний момент системи дорівнюють нулю:

$\sum F_{ix} = 0$ ,  $\sum F_{iy} = 0$ ,  $\sum M_i = 0$ . Тіло під дією такої системи сил знаходиться в рівновазі.

Рішення другої задачі статyki полягає в складанні умов рівноваги системи сил, що діють на тверде тіло.

Щоб вирішити цю задачу потрібно:

- показати сили, що діють на тіло;
- визначити, які в'язі накладені на тіло;
- відкинути в'язі, замінивши їхню дію реакціями в'язей;
- скласти умови рівноваги тіла під дією отриманої

системи сил.

В залежності від виду системи сил, умови рівноваги можуть бути записані в різній формі. Розрізняють наступні види плоскої системи сил:

- довільна плоска система, коли сили розташовані довільно;
- система сил, що сходяться, коли лінії дії всіх сил системи проходять через одну точку;
- система рівнобіжних сил, коли лінії дії сил рівнобіжні (звичайно однієї з координатних осей);
- система пар сил.

Для рівноваги довільної плоскої системи сил необхідно і достатньо, щоб алгебраїчні суми проекцій усіх сил на координатні осі дорівнювали нулю і, щоб алгебраїчна сума всіх моментів усіх сил відносно будь-якої точки на площині дорівнювала нулю:

$$\sum_{i=1}^n F_{ix} = 0; \quad \sum_{i=1}^n F_{iy} = 0; \quad \sum_{i=1}^n M_o = 0, \quad (1.3)$$

Рівняння (1.3) називають основними рівняннями рівноваги: перші два – рівняння проекцій сил, третє – рівнянням моментів.

Рівняння рівноваги в залежності від умов задачі і розташування заданих сил доцільно складати у виді двох рівнянь моментів і одного рівняння проекцій сил:

$$\sum_{i=1}^n M_A = 0; \quad \sum_{i=1}^n M_B = 0; \quad \sum_{i=1}^n F_{ix} = 0, \quad (1.4)$$

або трьох рівнянь моментів щодо трьох точок координатної площини:

$$\sum_{i=1}^n M_A = 0; \quad \sum_{i=1}^n M_B = 0; \quad \sum_{i=1}^n M_C = 0, \quad (1.5)$$

#### 2.3.4 Пристрій і принцип роботи установки

Установка ТМт – 03 (рисунок 1.9) складається із основи 1 з двома опорними стійками 2, на яких встановлена сталева балка 3 трубчастого перерізу або затиснута на лівій опорі консольна балка. Закріплені на пружинячих корпусах 4 вимірювальні голівки 5 дозволяють визначити модулі та

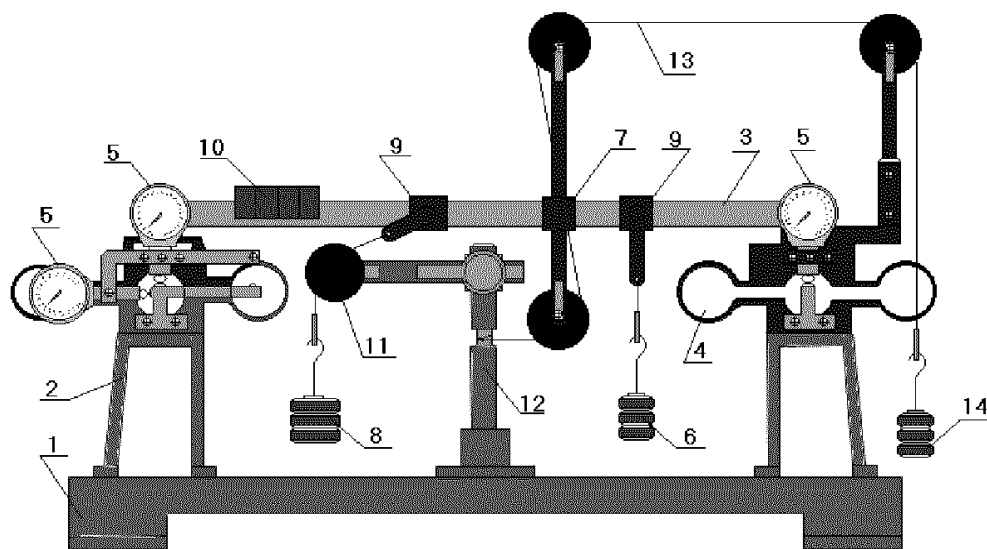


напрям горизонтальних і вертикальних складових опорних реакцій з погрішністю не більше 5%.

Рівномірно розподілене навантаження на балці створюється за допомогою набору сталевих брусків 10, вільно встановлюваних згори. Навантаження балки зосередженими силами здійснюється за допомогою вантажів 6 і 8, які підвішені на гнучких тросах, їх кінці прикріплені до рухливих блоків 9, які можна пересувати уздовж балки. Один з тросів (на якому підвішується вантаж 8) може відхилятися від вертикалі ролик 11, встановленим на кінці штанги штатива 12, закріпленого на основі 1. Штанга з ролик 11 може переміщатися по вертикалі та фіксується гвинтом.

Для прикладення до балки пари сил служить поперечина 7, на кінцях якої також встановлені ролики, що охоплюються тросом 13. Один кінець цього троса кріпиться до штатива 12, а до іншого кінця підвішується вантаж 14, сила тяжіння якого дорівнює кожній з двох сил пари.

Одне ділення вимірювальної голівки еквівалентно силі, рівній 1,2 Н.



1- основа (станина); 2 - опорні стійки; 3 - сталевая балка;  
4 - пружинячі опори; 5 - вимірювальні голівки; 6 і 8 -  
вантаж зосередженої сили; 7 – поперечина; 9 - рухливий  
блок; 10 - набір сталевих брусків; 11 – ролик; 12 - штанга  
штатива; 13 – трос; 14 - вантаж моменту.

Рисунок 1.9 – Установка ТМт – 03

## **2.4 Оснащення робочого місця**

- установка ТМт-03, підготовлена до проведення експерименту;
- методичні вказівки з виконання лабораторної роботи;
- калькулятор, олівець, лінійка;
- звіт з лабораторної роботи.

## **2.5 Інструкція з охорони праці**

### **2.5.1 Загальні вимоги**

До лабораторної роботи допускаються студенти, які пройшли інструктаж по техніці безпеки при проведенні лабораторних робіт на кафедрі «Технічна механіка та комп'ютерне проектування ім. професора В.М. Найдиша», що зареєстровано записом у відповідному журналі.

### **2.5.2 При підготовці до лабораторної роботи**

- до початку лабораторної роботи кожен студент зобов'язаний ознайомитись з правилами безпеки при виконанні роботи;
- не починати виконання експериментальної частини без відповідного розпорядження викладача або лаборанта.

### **2.5.3 Під час виконання роботи**

- не тримати на робочому місці сторонні предмети;
- не переходити самовільно на інші робочі місця і не пересуватися без потреби по лабораторії;
- при роботі з установкою чітко дотримуватись рекомендацій лаборанта.

2.5.4 Після закінчення експериментальної частини роботи здати робоче місце лаборанту або викладачу.

2.5.5 У разі виникнення пожежі необхідно негайно проінформувати викладача або лаборанта, подзвонити по номеру 101.

## **2.6 Рекомендації щодо виконання роботи й оформлення звіту**

- чітко і ясно формулювати основні поняття по даній роботі;
- не заважати один одному при виконанні експериментальної частини роботи;

- при підстановці вихідних даних у формули дотримуватись єдиних одиниць вимірювання;
- при формулюванні висновків слід надати порівняльну оцінку результатів, отриманих експериментальним і теоретичним шляхом;
- відповіді на контрольні запитання повинні відображати рівень засвоєння матеріалу, бути короткими, точними і по суті запитання;
- заповнений бланк лабораторної роботи підписується виконавцем і зараховується у формі співбесіди з викладачем.

### **3 ЗВІТНІСТЬ ПО РОБОТІ**

Звіт з лабораторної роботи оформлюється на спеціальному бланку розробленому кафедрою ТМКП ім. професора В.М. Найдиша і містить необхідні положення для виконання лабораторної роботи (форма звіту додається).

#### **Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного**

Кафедра «Технічна механіка та комп'ютерне проектування  
ім. професора В.М. Найдиша»

Звіт по лабораторній роботі № 1  
з дисципліни «Технічна механіка»

#### **«ВИЗНАЧЕННЯ ОПОРНИХ РЕАКЦІЙ БАЛОК»**

**Мета роботи:** дослідження балки, що знаходиться на двох опорах, одна з яких (ліва) шарнірно - нерухома, а інша (права) шарнірно - рухлива. Придбання навичок в практичному визначенні реакцій

1 Дати формулювання поняття "в'язі"

---

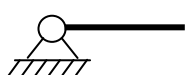
2 Дати формулювання поняття " реакція в'язі"

---

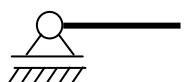


---

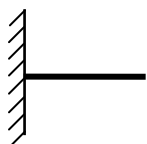
3 Визначити тип в'язів та проставити їх реакції



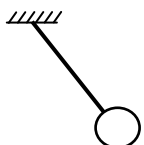
Тип -



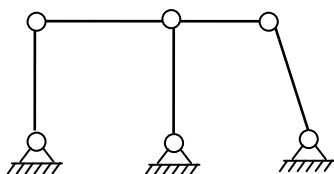
Тип -



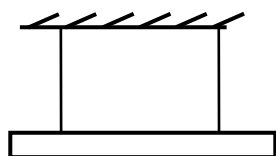
Тип -



Тип -

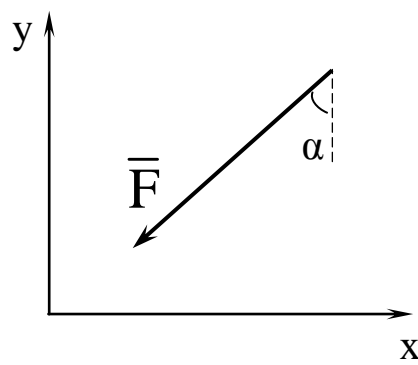
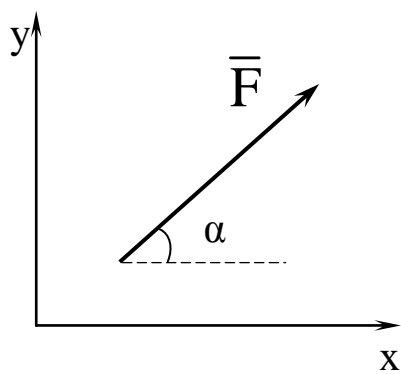
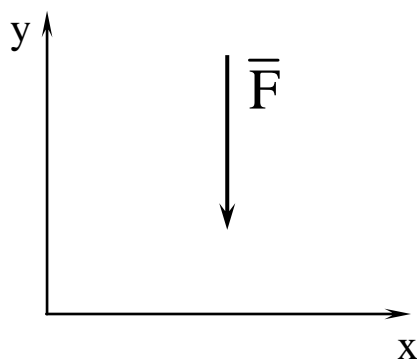
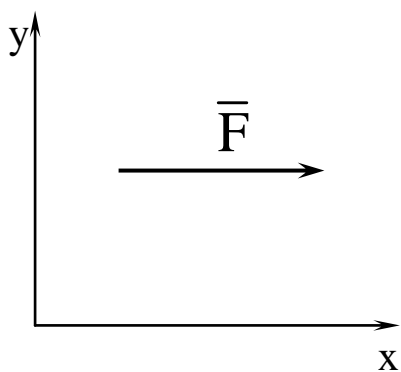


Тип -

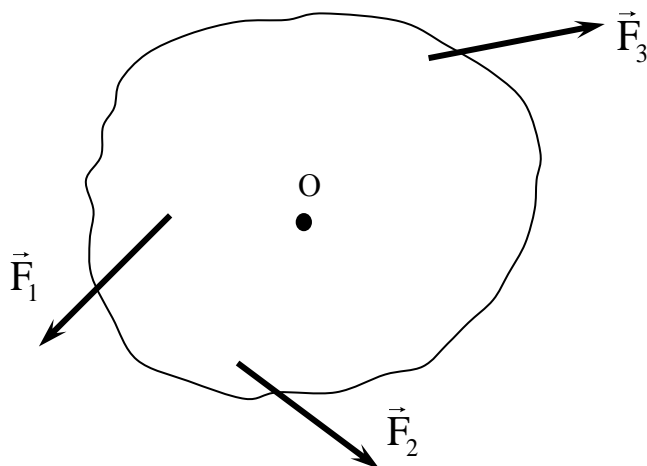


Тип -

4 Знайти проекції сили на осі координат.



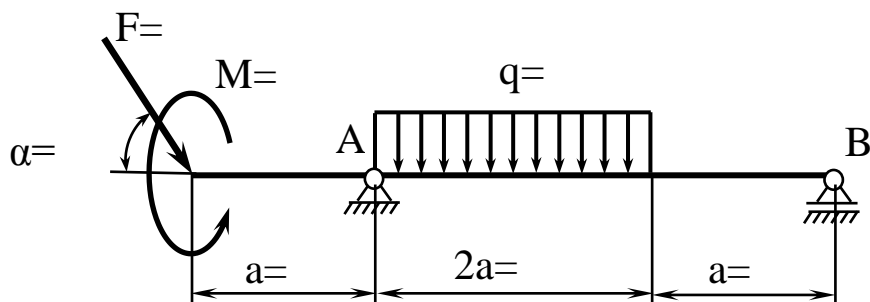
5 Привести довільну систему сил до системи, що сходиться виконавши відповідні графічні будування.



6 Знайти рівнодіючу системи сил за допомогою силового багатокутника поброго згідно прийнятого масштабу по заданим величинам.

Позна- чення	Вели- чина, Н	Напрям сили
$F_1$		
$F_2$		
$F_3$		
$F_4$		
$F_5$		
$F_6$		

7 Для заданої схеми зовнішнього навантаження проствити реакції та визначити їх значення.



## 8 Експериментальне визначення опорних реакцій

Результати випробування заносяться до таблиці 1.

Таблиця 1 – Дані вимірювань

Реакція	Розрахункові дані (Н)	Експериментальні дані (Н)	Похибка $\Delta = \frac{R_{\text{експ.}} - R_{\text{теор.}}}{R_{\text{експ.}}} \cdot 100\%$
$R_Y^A$			
$R_X^A$			
$R_Y^B$			

Висновок: \_\_\_\_\_

## 8 Контрольні запитання

8.1 Як замінити рівномірно розподілене навантаження зосередженою силою?

8.2 В яких випадках значення проекція сили на осі координат додатна (від'ємна)?

8.3 В яких випадках значення проекції сили на осі координат дорівнює нулю?

8.4 В яких випадках значення проекції сили на осі координат дорівнює істинному значенню вектора сили?

8.5 Скільки рівнянь рівноваги треба скласти для визначення реакцій в в'язах?

8.6 Яку систему сил називають довільною?

8.7 Яку систему сил називають системою збіжних сил?

8.8 Що таке момент сили відносно точки?

Роботу виконав \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_  
(підпис) (П.І.Б. студента)

Відмітка про залік \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_  
(підпис) (П.І.Б. викладача)

## **Тести до теми «Визначення опорних реакцій балок»**

### **1 Абсолютне тверде тіло, це:**

- а) об'єкт, відстань між точками якого не змінюються при будь-яких взаємодіях;
- б) будь-яка сукупність матеріальних точок;
- в) об'єкт малих розмірів, що володіє тільки масою;
- г) об'єкт великих розмірів, що володіє розмірами і масою.

### **2 Механічна система, це:**

- а) об'єкт, відстань між точками якого не змінюються при будь-яких взаємодіях;
- б) будь-яка сукупність матеріальних точок;
- в) об'єкт малих розмірів, що володіє тільки масою;
- г) об'єкт великих розмірів, що володіє розмірами і масою.

### **3 Матеріальна точка, це:**

- а) об'єкт, відстань між точками якого не змінюються при будь-яких взаємодіях;
- б) будь-яка сукупність матеріальних точок;
- в) об'єкт малих розмірів, що володіє тільки масою;
- г) об'єкт великих розмірів, що володіє розмірами і масою.

### **4 Сила це:**

- а) векторна міра дії одного матеріального об'єкту на іншій;
- б) векторна міра маси;
- в) векторна міра моменту;
- г) векторна міра тертя.

### **5 Система сил, це:**

- а) будь-яка сукупність сил;
- б) будь-яка сукупність матеріальних точок;
- в) будь-яка сукупність матеріальних тіл;
- г) будь-яка сукупність реакції в'язів.

### **6 Чим характеризується дія сили на тіло?**

- а) точкою прикладення і величиною;
- б) точкою прикладення і напрямом;
- в) точкою прикладення, напрямом і величиною;
- г) точкою прикладення, напрямом, величиною і лінією дії.

**7 Скласти, або розкласти сили за правилом паралелограму можна у випадку якщо:**

- а) лінії дії двох сил перетинаються;
- б) лінії дії двох сил паралельні;
- в) лінії дії двох сил перехрещуються;
- г) лінії дії двох сил діють по одній прямій.

**8 В яких випадках напрямок сили  $F$  приймають позитивним ?**

- а) якщо вона спрямована за годинниковою стрілкою;
- б) якщо вона спрямована протилежно годинникової стрілки;
- в) якщо вона спрямована в позитивному напрямку осі  $X$  або  $Y$ ;
- г) якщо вона спрямована в негативному напрямку осі  $X$  або  $Y$ .

**9 В яких випадках напрямок сили  $F$  приймають негативним?**

- а) якщо вона спрямована за годинниковою стрілкою;
- б) якщо вона спрямована протилежно годинникової стрілки;
- в) якщо вона спрямована в позитивному напрямку осі  $X$  або  $Y$ ;
- г) якщо вона спрямована в негативному напрямку осі  $X$  або  $Y$ ;

**10 В якому випадку проекція сили  $F$  на вісь дорівнює нулю?**

- а) сила ( $F$ ) паралельна осі;
- б) сила ( $F$ ) перпендикулярна осі;
- в) сила ( $F$ ) діє під кутом  $45^\circ$  к осі;
- г) сила ( $F$ ) діє під кутом  $180^\circ$  к осі.

**11 В якому випадку проекція сили  $F$  на вісь дорівнює її натуральній величині?**

- а) сила ( $F$ ) паралельна осі;
- б) сила ( $F$ ) перпендикулярна осі;
- в) сила ( $F$ ) діє під кутом  $45^\circ$  к осі;
- г) сила ( $F$ ) діє під кутом  $180^\circ$  к осі.

**12 Якщо дві сили врівноважують одна одну, то як направлені ці сили одна до одної?**

- а) вони направлені в один бік;
- б) вони направлені по одній прямій в протилежні сторони;
- в) їх взаємне розташування довільне;
- г) вони перпендикулярні один одному.



**13 Як знайти зосереджену силу ( $R$ ) для розподіленого зовнішнього навантаження( $q$ ) діючого на довжині ( $l$ ) ?**

а)  $F_q = \frac{q}{l}$ ;

б)  $F_q = q \cdot l$ ;

в)  $F_q = \frac{l}{q}$ ;

г)  $F_q = \frac{q \cdot l}{2}$ .

**14 В якому випадку система сил еквівалентна нулю?**

а)  $\vec{F}_1 = -\vec{F}_2$  - лінії дії сил перетинаються;

б)  $\vec{F}_1 = -\vec{F}_2$  - лінії дії сил паралельні;

в)  $\vec{F}_1 = -\vec{F}_2$  - лінії дії сил перехрещуються;

г)  $\vec{F}_1 = -\vec{F}_2$  - лінії дії сил співпадають.

**15 Реакція зв'язку, це:**

а) зовнішня сила яка діє на зв'язок;

б) внутрішня пасивна сила зв'язку яка урівноважує зовнішнє навантаження;

в) внутрішня врівноважена система сил;

г) зовнішня врівноважена система сил.

**16 Скільки реакцій виникає в плоскій шарнірно - нерухомій опорі?**

а) одна реакція;

б) дві реакції;

в) три реакції;

г) чотири реакції.

**17 Скільки реакцій виникає в плоскій шарнірно - рухомій опорі?**

а) одна реакція

б) дві реакції

в) три реакції

г) чотири реакції

**18 Скільки реакцій виникає в консольно - затисненій опорі?**

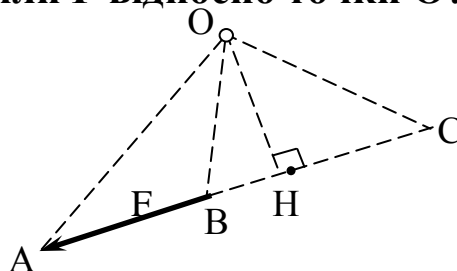
- а) одна реакція і реактивний момент;
- б) дві реакції і реактивний момент;
- в) три реакції і реактивний момент;
- г) дві реакції.

**19 Яку систему сил, називають системою що сходиться?**

- а) системою сил, що сходиться, називають таку систему сил, лінії дії яких перетинаються в одній точці;
- б) системою сил, що сходиться, називають таку систему сил, лінії дії яких паралельні;
- в) системою сил, що сходиться, називають таку систему сил, лінії дії яких мають вільне направлення;
- г) системою сил, що сходиться, називають таку систему сил, лінії дії яких мають кілька точок перетинання.

**20 Визначте плече сили  $F$  відносно точки  $O$ ?**

- а) відрізок  $OA$ ;
- б) відрізок  $OH$ ;
- в) відрізок  $OB$ ;
- г) відрізок  $OC$ .



**21 Як визначається крутильний момент  $M$  ?**

- а)  $M = \frac{F}{h}$  ;
- б)  $M = F \cdot h$  ;
- в)  $M = F + h$  ;
- г)  $M = h - F$ .

**22 В яких одиницях вимірюється крутильний момент  $M$ ?**

- а)  $H \cdot m$ ;
- б)  $H/m$ ;
- в)  $H$ ;
- г)  $Kg$ .

**23 В яких випадках напрямок крутильного моменту  $M$  приймають позитивним ?**

- а) якщо він спрямований за годинною стрілкою;
- б) якщо він спрямований протилежно годинникової стрілки;
- в) якщо він спрямований в позитивному напрямку осі  $X$ ;
- г) якщо він спрямований в позитивному напрямку осі  $Y$ .

**24 В яких випадках напрямок крутильного моменту  $M$  приймають негативним?**

- а) якщо він спрямований за годинною стрілкою;
- б) якщо він спрямований протилежно годинникової стрілки;
- в) якщо він спрямований в позитивному напрямку осі  $X$ ;
- г) якщо він спрямований в позитивному напрямку осі  $Y$ .

**25 Який вид балки зображений на рисунку?**

- а) консольна;
- б) двохопорна з консоллю;
- в) двохопорна;
- г) багато опорна.



**25 Який вид балки зображений на рисунку?**

- а) консольна;
- б) двохопорна з консоллю;
- в) двохопорна;
- г) багато опорна.



**25 Який вид балки зображений на рисунку?**

- а) консольна;
- б) двохопорна з консоллю;
- в) двохопорна;
- г) багато опорна.



**25 Який вид балки зображений на рисунку?**

- а) консольна;
- б) двохопорна з консоллю;
- в) двохопорна;
- г) багато опорна.



## Лабораторна робота №2

### ВИПРОБУВАННЯ МАЛОВУГЛЕЦЕВОЇ СТАЛІ НА РОЗТЯГ. ОСНОВНІ МЕХАНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ МІЦНОСТІ ТА ПЛАСТИЧНОСТІ

#### Методичні вказівки до лабораторної роботи №2

**МЕТА РОБОТИ:** дослідження поведінки пластичного матеріалу при центральному розтягу.

#### 1 ВКАЗІВКИ З ПІДГОТОВКИ ДО РОБОТИ

##### 1.1 Завдання для самостійної підготовки

Під час підготовки до роботи з'ясувати що таке міцність, і які параметри її характеризують. Що таке розтяг і від чого виникає деформація розтягу. Для чого потрібна діаграма розтягу, в яких координатах її будують. Які властивості має сталь при розтягу. Для чого потрібна діаграма напружень, в яких координатах її будують. Які механічні характеристики міцності має сталь при розтягу.

##### 1.2 Питання для самопідготовки

- 1.2.1 Що таке міцність матеріалу?
- 1.2.2 Що таке пластичність матеріалу?
- 1.2.3 Як визначити напруження у перпендикулярному до осі розтягу перерізі? Як вони називаються?
- 1.2.4 Яка розмірність нормальних напружень?
- 1.2.5 Як визначається абсолютна деформація? В яких одиницях вона вимірюється?
- 1.2.6 Як визначається відносна деформація? В яких одиницях вона вимірюється?
- 1.2.7 Сформулюйте закон Гука?
- 1.2.8 Для чого потрібна діаграма розтягу та діаграма напружень?
- 1.2.9 Вкажіть фізичний зміст модуля Юнга, його розмірність?
- 1.2.10 Дайте визначення допустимого напруження.
- 1.2.11 Що належить до механічних характеристик міцності?

1.2.12 Що належить до механічних характеристик пластичності?

1.2.13 Від чого залежить модуль пружності 1 роду?

1.2.14 Від чого залежить коефіцієнт запасу міцності?

### **1.3 Рекомендована література**

1 Механіка матеріалів і конструкцій. Лаб. роботи. Навч. посібник для вузів / Цурпал І.А., Пастушенко С.І. і др.- Київ: Аграрна освіта, 2001.-272 с.

2 Цурпал І.А. Механіка матеріалів і конструкцій /І.А.Цурпал - К.: Вища освіта, 2005. -367 с.

## **2 ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ РОБОТИ**

### **2.1 Програма роботи**

- дати формулювання поняття „міцність”;
- дати пояснення коли виникає деформація розтягу;
- розглянути зразки, які використовують для випробувань на розтяг;
- зробити обміри зразка і записати результати в журнал спостережень;
- розрахувати площу поперечного перерізу зразка;
- перевірити готовність установки до експерименту, встановити випробувальний зразок в затискачі;
- провести експеримент і за результатами дослідіду побудувати діаграму розтягу в масштабі;
- визначити, які властивості має сталь при центральному розтягу;
- визначити за допомогою діаграми значення навантажень, що відповідають визначеним властивостям;
- розрахунки занести в журнал спостережень;
- побудувати діаграму напружень;
- визначити які механічні характеристики міцності має м'яка сталь;
- визначити значення механічних характеристик міцності і розрахунки занести в журнал спостережень;
- визначити значення механічних характеристик пластичності і розрахунки занести в журнал спостережень;

- визначити небезпечні напруження і марку матеріалу зразка;

- відповісти на контрольні запитання;

- захистити лабораторну роботу у викладача.

## 2.2 Оснащення робочого місця

### 2.2.1 Методичні вказівки

### 2.2.2 Наочні стенди, навчальна та технічна література

## 2.3 Теоретичні відомості

Спостереження за поведінкою матеріалу і визначення його характеристик міцності і пластичності при розтягу - один із основних і найбільш розповсюджених видів випробувань. Отримані в результаті експерименту характеристики дозволяють робити висновки про міцність матеріалу при статичних навантаженнях, вибирати матеріал для проектованої конструкції і вважаються основними при розрахунках деталей машин, елементів конструкцій і споруд на міцність.

Основні параметри визначають із діаграми розтягу  $F - \Delta l$  (рисунок 2.1), яку отримують за допомогою пристрою, що записує на випробувальній машині.

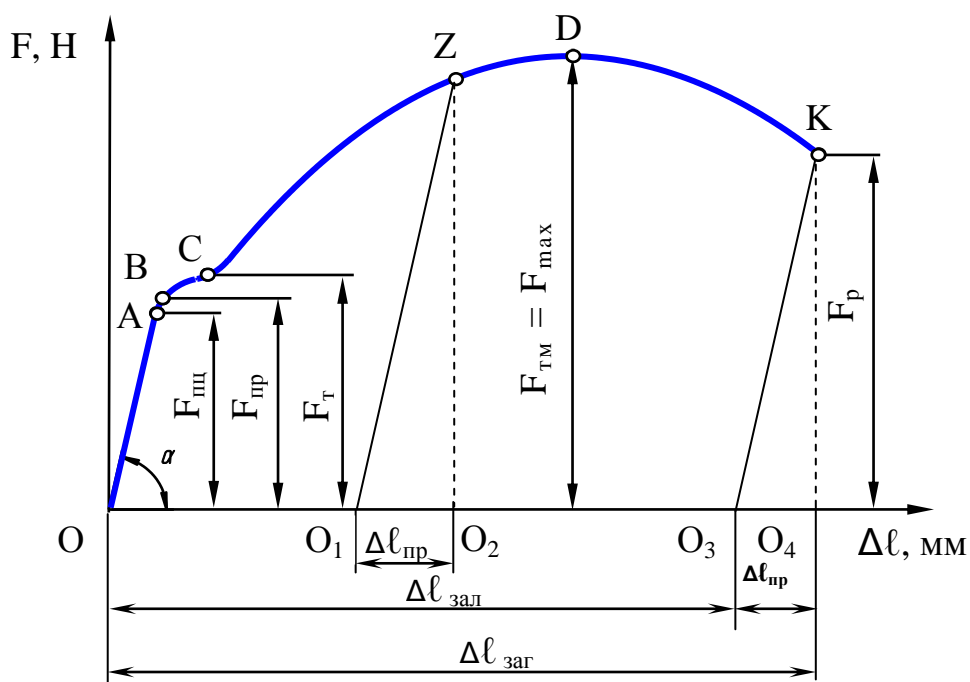


Рисунок 2.1 – Діаграма розтягу маловуглецевої сталі

Діаграма розтягу потрібна для того, що вивчити внутрішні властивості матеріалу, тобто вона є наочним представленням того, що відбувається з матеріалом усередині.

Для вивчення основних механічних характеристик міцності існує діаграма напружень (рисунок 2.2). Розглянемо обидві діаграми зіставляючи відповідні точки. На етапі навантаження до деякої сили  $F_{\text{пц}}$  (точка А) спостерігається пряма пропорційна залежність між видовженням зразка і силою  $F$ , що його викликала і зворотня пропорційна залежність площі поперечного перерізу  $A$ . Позначаючи через  $\Delta l$  приріст довжини від сили  $F$ , можемо записати формулу, що зв'язує ці данні, яка носить назву **закон Гука**:

$$\Delta l = \frac{F \cdot l}{E \cdot A}, \quad (2.1)$$

де:  $E$  – коефіцієнт пропорційності, який характеризує жорсткість матеріалу, МПа;

$\Delta l$  - величина абсолютного видовження стержня, мм;

$$\Delta l = l_1 - l_0, \quad (2.2)$$

де:  $l_1$  – довжина зразка після руйнування, мм;

$l_0$  - довжина зразка до руйнування, мм;

$A$  – площа поперечного перерізу,  $\text{мм}^2$ .

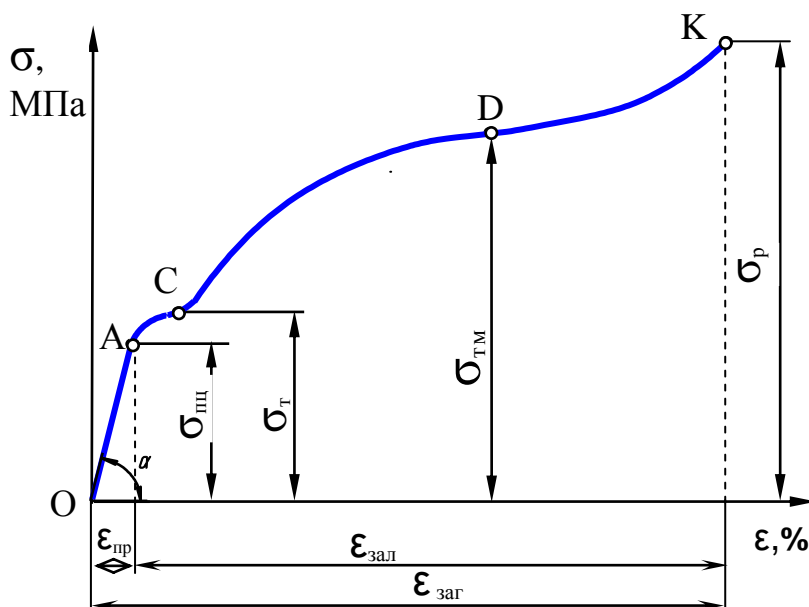


Рисунок 2.2 – Діаграма напружень маловуглецевої сталі

Взагалі величина  $E \cdot A$  характеризує жорсткість стержня при розтягу (стиску). Після розвантаження початкова довжина зразка відновлюється, тобто деформація зникає. Ця властивість називається пружністю. Відношення:

$$\sigma_{\text{пц}} = \frac{F_{\text{пц}}}{A_0} \quad (2.3)$$

називають границею пропорційності. Це і є те напруження, вище якого матеріал перестав підкорятися закону Гука.

При подальшому навантаженні починається незначне відхилення від прямої лінії, після розвантаження деформація зникає не повністю, тобто з'являється залишкова деформація. Сила  $F_{\text{пр}}$  (точка В) викликає у зразка залишкову деформацію 0,001-0,005%. Відношення:

$$\sigma_{\text{пр}} = \frac{F_{\text{пр}}}{A_0}, \quad (2.4)$$

називають границею пружності. Це те напруження, після якого з'являються залишкові деформації.

По досягненню навантаженням деякого значення  $F_T$  (точка С) зразок видовжується ("тече") без збільшення, а інколи і при зменшенні навантаження. На діаграмі з'являється так звана «площадка текучості». Після розвантаження є в наявності значна залишкова деформація. Відношення:

$$\sigma_T = \frac{F_T}{A_0}, \quad (2.5)$$

називають границею текучості (фізичною). Наявність «площадки текучості» є свідомством того, матеріал має властивості текучості.

Щоб зразок деформувався дедалі більше, потрібно збільшувати навантаження, матеріал знову здатний чинити опір розтягу. Пояснюється це явище зміцненням матеріалу. Якщо із зразка повністю зняти навантаження  $F_T$ , то пружна деформація  $\Delta \ell_{\text{пр}}$  зникне, а залишкова  $\Delta \ell_{\text{зал}}$  залишиться, перо самописа прокреслить пряму лінію  $ZO_1$ , яка буде паралельна



пропорційній ділянці ОА. При повторному навантаженні, яке буде зразу після розвантаження, перо спочатку накреслить лінію  $O_1Z$ , а із збільшенням навантаження переміститься далі по ділянці ZD. Властивості матеріалу змінюються: пластичні властивості погіршуються, а твердість підвищується. Відбуваються зміни в кристалічній решітці матеріалу, він зміцнює сам себе. Це призводить до появи явища поверхневого **наклепу**, тобто об'ємного зміцнення. В одних випадках ці зміни корисні, в інших шкідливі і їх усувають. Подальше збільшення навантаження призводить до появи "шийки" на зразку і руйнування (рисунк 4). До моменту появи шийки навантаження на зразок досягає свого максимального значення  $F_{\text{мц}}$  або  $F_{\text{тм}}$  (точка Д). Відношення

$$\sigma_{\text{мц}} = \frac{F_{\text{мц}}}{A_0}, \quad (2.6)$$

називають границею міцності  $\sigma_{\text{мц}}$  матеріалу або тимчасовим опором  $\sigma_{\text{тм}}$ .

Як тільки на зразку утворюється шийка (точка Д), навантаження зменшується і подальше деформування зразка проходить за рахунок видовження в зоні шийки (ділянка ДК). Відношення навантаження  $F_p$  в момент розриву до площі шийки  $A_{\text{ш}}$  в місці розриву:

$$\sigma_p = \frac{F_p}{A_{\text{ш}}}, \quad (2.7)$$

називають істинним опором розриву.

До моменту розриву робоча частина зразка  $\ell_0$  видовжилась на величину загальної деформації  $\Delta\ell_{\text{заг}}$ . Після розриву пружна частина загальної деформації зникне, залишиться залишкова деформація  $\Delta\ell_{\text{зал}}$ .

Відношення приросту подовження зразка  $\Delta\ell$  до його початкової довжини  $\ell_0$

$$\varepsilon = \frac{\Delta\ell}{\ell_0} \cdot 100\%, \quad (2.8)$$

називають відносним залишковим видовженням, або подовжнею деформацією.

На місці утворення шийки поперечний переріз зразка зменшується. Відношення зменшення площі поперечного перерізу в місці розриву  $\Delta A = A_0 - A_{\text{ш}}$  до початкової площі  $A_0$  поперечного перерізу зразка

$$\psi = \frac{\Delta A}{A_0} \cdot 100\%, \quad (2.9)$$

називають відносним залишковим звуженням, або поперечною деформацією.

По величинах  $\varepsilon$  і  $\psi$  оцінюють пластичні властивості матеріалу при випробуванні на розтяг.

Якщо обидві частини формули (2.1) розділити на  $\ell$ , отримаємо

$$\frac{\Delta \ell}{\ell} = \frac{F \cdot \ell}{E \cdot A \cdot \ell}, \quad (2.10)$$

Зробимо необхідні перетворення: права частина це є відносне видовження  $\varepsilon$ , в лівій частині відношення  $F/A$  це є напруження  $\sigma$ , отримаємо інше вираження закону Гука:

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} \quad \text{або} \quad \sigma = \varepsilon \cdot E, \quad (2.11)$$

Таким чином нормальне напруження при розтягу (стиску) прямо пропорційне відносному видовженню з урахуванням коефіцієнта пропорційності  $E$ , який називається модулем пружності 1-го роду (або модулем Юнга) і характеризує опір матеріалу пружній деформації. Його значення залежить від кута нахилу пропорційної ділянки до горизонтальної осі діаграми. Чим більше це значення, тим менше розтягується (стискається) стержень.

Руйнування крихких матеріалів відрізняється тим, що воно відбувається вже при невеликих деформаціях. При розтягу чавунного зразка, до моменту розриву виникають невеликі деформації, руйнування відбувається раптово, величини відносного звуження і відносного подовження є дуже малими. Як правило, крихкі матеріали погано опираються розтягу, їх границя міцності має невелике значення в порівнянні із границею міцності пластичних матеріалів. Якщо розглядати діаграму розтягу крихких

матеріалів, то можна відмітити, що вона не має чітко вираженої прямої лінії, яка є на частині пропорційності для пластичних матеріалів. Тому можна сказати, що крихкі матеріали не підкоряються закону Гука.

Згідно з ГОСТ 1497 – 84 при випробуванні на розтяг для забезпечення можливості порівняти результати застосовують пропорційні циліндричні зразки семи типів і плоскі зразки двох типів. Найбільш розповсюджені випробування на циліндричних зразках (рисунок 2.3). Після випробувань зразок видовжується на довжину  $\ell_1$  і ми отримуємо зруйнований зразок (рисунок 2.4), на якому є в наявності звужене місце, яке має назву «шийка». Воно може з'явитися в будь якій послабленій точці по розрахунковій довжині  $\ell_0$  зразка, це залежить від кількох факторів, які обумовлюють умови виробництва зразка та ін.



Рисунок 2.3 – Ескіз зразка до випробування

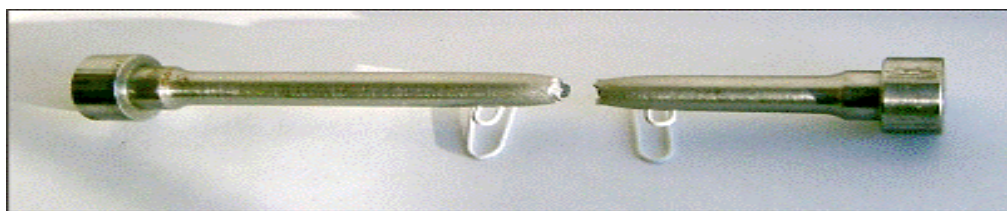
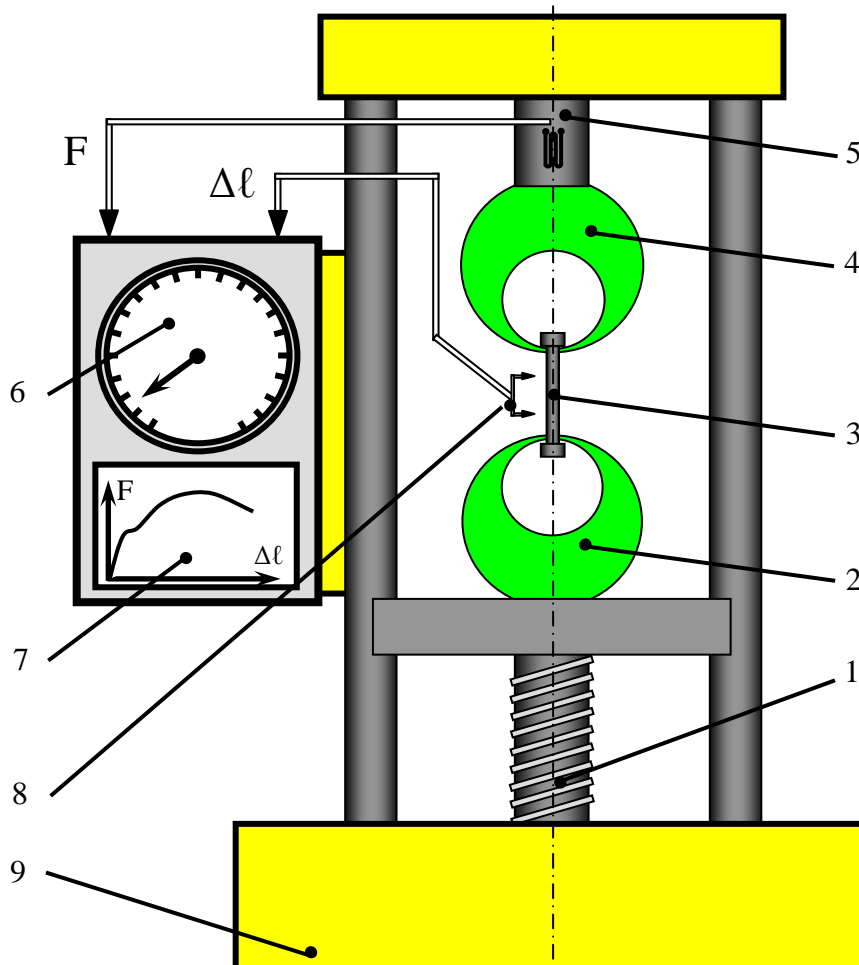


Рисунок 2.4 – Ескіз зразка після випробування

Випробування проводять на універсальній випробувальній машині УИМ – 50 (рисунок 2.5). На ній можливо випробувати зразки на розтяг, стиск, згин. Масштаб запису навантаження залежить від шкали, встановленої для проведення випробування. Машину можна налаштувати на максимальне навантаження 5, 10, 25 і 50 тон. Масштаб запису подовження складає 1 : 2.

## 2.4 Оснащення робочого місця

- стенд УИМ – 50, підготовлений до проведення експерименту;
- сталевий зразок круглого перерізу;
- штангенциркуль;
- методичні вказівки з виконання лабораторної роботи;
- калькулятор, олівець, лінійка;
- звіт з лабораторної роботи.



1 рухлива траверса; 2 рухливий захват; 3 зразок; 4 нерухомий захват; 5 силосиміювач; 6 шкала сило вимірювача; 7 діаграмний апарат; 8 тензометр; 9 станина.

Рисунок 2.5 – Схема УИМ – 50

## 2.5 Інструкція з охорони праці

### 2.5.1 Загальні вимоги

До лабораторної роботи допускаються студенти, які пройшли інструктаж по техніці безпеки при проведенні

лабораторних робіт на кафедрі «Технічна механіка та комп'ютерне проектування ім. професора В.М. Найдиша», що зареєстровано записом у відповідному журналі.

#### 2.5.2 При підготовці до лабораторної роботи

- до початку лабораторної роботи кожен студент зобов'язаний ознайомитись з правилами безпеки при виконанні роботи;

- не починати виконання експериментальної частини без відповідного розпорядження викладача або лаборанта.

#### 2.5.3 Під час виконання роботи

- не тримати на робочому місці сторонні предмети;
- не переходити самовільно на інші робочі місця і не пересуватися без потреби по лабораторії;

- при роботі з установкою чітко дотримуватись рекомендацій лаборанта.

2.5.4 Після закінчення експериментальної частини роботи здати робоче місце лаборанту або викладачу.

2.5.5 У разі виникнення пожежі необхідно негайно проінформувати викладача або лаборанта, подзвонити по номеру 101.

### **2.6 Рекомендації щодо виконання роботи й оформлення звіту**

2.6.1 чітко і ясно формулювати основні поняття по даній роботі;

2.6.2 не заважати один одному при виконанні експериментальної частини роботи;

2.6.3 при підстановці вихідних даних у формули дотримуватись єдиних одиниць вимірювання;

2.6.4 при формулюванні висновків слід надати порівняльну оцінку результатів, отриманих експериментальним і теоретичним шляхом;

2.6.5 відповіді на контрольні запитання повинні відображати рівень засвоєння матеріалу, бути короткими, точними і по суті запитання;

2.6.6 заповнений бланк лабораторної роботи підписується виконавцем і зараховується у формі співбесіди з викладачем.

## 4 ЗВІТНІСТЬ ПО РОБОТІ

Звіт з лабораторної роботи оформлюється на спеціальному бланку розробленому кафедрою ТМКП ім. професора В.М. Найдиша і містить необхідні положення для виконання лабораторної роботи (форма звіту додається).

### **Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного**

Кафедра «Технічна механіка та комп'ютерне проектування  
ім. професора В.М. Найдиша»

Звіт по лабораторній роботі № 2  
з дисципліни «Технічна механіка»

### **«ВИПРОБУВАННЯ МАЛОВУГЛЕЦЕВОЇ СТАЛІ НА РОЗТЯГ. ОСНОВНІ МЕХАНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ МІЦНОСТІ ТА ПЛАСТИЧНОСТІ»**

**Мета роботи:** дослідження поведінки пластичного матеріалу при центральному розтягу.

1 Ескізи зразка маловуглецевої сталі

Згідно з ГОСТ 1497 – 84 при випробуванні на розтяг для забезпечення можливості порівняти результати застосовують пропорційні циліндричні зразки.



Рисунок 1 – Ескіз зразка до випробування

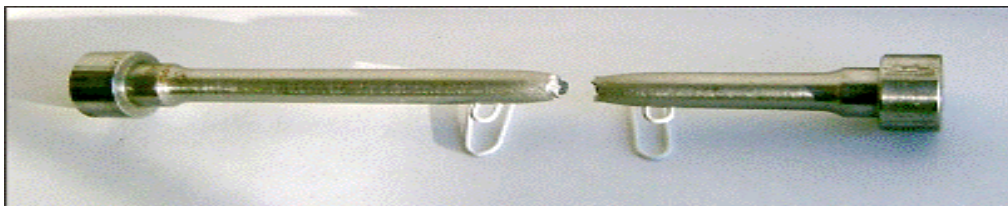


Рисунок 2 – Ескіз зразка після випробування

Данні обміру зразка заносимо до таблиці 1.

Таблиця 1 – Данні обміру зразка

Величини	До випробування	Після випробування
1 Розрахункова довжина, мм	$l_0 =$	$l_1 =$
2 Діаметр зразка, мм	$d_0 =$	$d_{ш} =$
3 Площа поперечного перерізу зразка, мм <sup>2</sup>	$A_0 =$	$A_{ш} =$

## 2 Діаграма розтягу зразка

Будується для вивчення внутрішніх властивостей матеріалу. Для вивчення необхідних характеристик діаграму будуємо в масштабі, при цьому шкалу навантаження настроюємо на максимальне навантаження 25 т.



Рисунок 3 – Діаграма розтягу сталюого зразка

**Масштаби:** навантаження  $\mu_F = 1500 \text{ Н/мм};$   
 подовження  $\mu_{\Delta l} = 0,5 \text{ мм/мм}.$

## 3 Характеристики частин діаграми:

частина ОА \_\_\_\_\_

частина ОВ \_\_\_\_\_

частина ВС \_\_\_\_\_

частина СД \_\_\_\_\_

частина ДК \_\_\_\_\_

точка К \_\_\_\_\_

4 Дані обміру діаграми розтягу маловуглецевої сталі

Величина, розмірність	Позначення	Значення
1 Навантаження, що відповідає границі пропорційності, Н		
2 Навантаження, що відповідає границі пружності, Н		
3 Навантаження, що відповідає границі текучості, Н		
4 Максимальне навантаження, що відповідає границі міцності (тимчасовому опору), Н		
5 Розривне зусилля, що відповідає істинному опору розриву, Н		

5 Діаграма напружень необхідна для того, щоб вивчити механічні характеристики міцності.



Рисунок 4 – Діаграма напружень

Умовна діаграма \_\_\_\_\_  
Істина діаграма -----



## 2 Розрахунки механічних характеристик

### 2.1 Міцності

Границя пропорційності, МПа	$\sigma_{\text{нц}} = \frac{F_{\text{нц}}}{A_0} =$
Границя текучості, МПа	$\sigma_{\text{т}} = \frac{F_{\text{т}}}{A_0} =$
Границя міцності (тимчасовий опір), МПа	$\sigma_{\text{мц}} = \frac{F_{\text{мц}}}{A_0} =$
Істинний опір розриву матеріалу, МПа	$\sigma_{\text{р}} = \frac{F_{\text{р}}}{A_{\text{ш}}} =$

### 2.2 Пластичності

Відносне остаточне подовження	$\varepsilon = \frac{\Delta l_{\text{ост}}}{l_0} \cdot 100\% =$
Відносне остаточне звуження	$\psi = \frac{A_0 - A_{\text{ш}}}{A_0} \cdot 100\% =$

## 6 Небезпечне напруження (по діаграмі напруження)

7 Коефіцієнт запасу міцності \_\_\_\_\_

8 Розрахунок допустимого напруження:  $[\sigma] = \frac{\sigma_{\text{т}}}{n_{\text{т}}} =$

9 Модуль пружності 1 рода:  $E = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \text{tg } \alpha =$

10 Контрольні запитання

10.1 Чи підкоряється випробувана сталь закону Гука?

Які деформації по характеру та величині у цій зоні

10.2 Чим характеризується зона зміцнення матеріалу?

10.3 Як розподіляються деформації в процесі випробування зразка?

10.4 За рахунок чого відбувається зниження навантаження перед руйнуванням зразка?

---

10.5 Як відбувається руйнування зразка (відриванням чи зсувом)?

---

10.6 Що належить до механічних характеристик міцності матеріалу?

---

10.7 Що належить до механічних характеристик пластичності матеріалу?

---

10.8 Чому діаграму напружень називають умовною?

---

10.9 Як змінюється напруження в поперечному перерізі під час розтягу зразка?

---

10.10 Де використовуються механічні характеристики матеріалу?

---

Роботу виконав \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_  
(підпис) (П.І.Б. студента)

Відмітка про залік \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_  
(підпис) (П.І.Б. викладача)

#### **4 Критерії оцінювання лабораторної роботи**

Максимальна оцінка складає 10 балів. Оцінювання здійснюється шляхом тестування (письмового або за допомогою ПЕОМ) у відсотках від кількості вірних відповідей. Мінімальна сприйнятлива кількість вірних відповідей складає 60% тобто 6 балів.

## **Тести до теми «Випробування маловуглецевої сталі на розтяг. Основні механічні характеристики міцності та пластичності»**

### **1 Які деформації називаються пружними?**

- а) деформації, що зникають повністю після зняття навантаження;
- б) деформації, що не зникають після зняття навантаження;
- в) деформації, що не виникають при навантаженні тіла зовнішніми силами;
- г) деформації, зникаючі частково після зняття навантаження.

### **2 Які деформації називаються пластичними?**

- а) деформації, що зникають повністю після зняття навантаження;
- б) деформації, не зникаючі після зняття навантаження;
- в) деформації, що не виникають при навантаженні тіла зовнішніми силами;
- г) деформації, зникаючі частково після зняття навантаження.

### **3 Що характеризують напруження в поперечному перерізі?**

- а) величину зовнішньої сили, що доводиться на одиницю площі перетину;
- б) величину внутрішньої сили, що доводиться на одиницю площі перетину;
- в) величину розподіленого навантаження, що доводиться на одиницю площі перетину;
- г) інтенсивність розподілу навантаження на одиницю площі перетину.

### **4 Яким символом позначається нормальні напруження?**

- а)  $E$ ;
- б)  $U$ ;
- в)  $\sigma$ ;
- г)  $F$ .

**5 Що характеризує модуль пружності I роду ( $E$ )?**

- а) міцність матеріалу;
- б) жорсткість матеріалу;
- в) стійкість матеріалу;
- г) пластичність матеріалу.

**6 У чому полягає суть методу перетинів?**

- а) розрізати стержень, відкинути одну з частин, замінити дію відкинутої частини нормальною внутрішньою силою, скласти рівняння рівноваги;
- б) розрізати стержень, відкинути одну з частин, скласти рівняння рівноваги;
- в) розрізати стержень, відкинути одну з частин, замінити дію відкинутої частини нормальною зовнішньою силою;
- г) розрізати стрижень, скласти рівняння рівноваги.

**7 Від чого залежать допустимі напруження?**

- а) від модуля пружності першого роду;
- б) від площі поперечного перетину;
- в) від властивостей матеріалу;
- г) від довжини стержня.

**8 У яких одиницях вимірюється нормальні напруження ( $\sigma$ )?**

- а)  $\text{Н/мм}^2$ ;
- б)  $\text{Н} \cdot \text{мм}^2$ ;
- в)  $\text{Н/мм}$ ;
- г)  $\text{Н}^2/\text{мм}^2$ .

**9 У яких одиницях вимірюється модуль пружності I роду ( $E$ )?**

- а)  $\text{Н} \cdot \text{мм}^2$ ;
- б) МПа;
- в)  $\text{Н/мм}$ ;
- г)  $\text{Н}^2/\text{мм}^2$ .

**10 Які характеристики матеріалу визначають з діаграми напружень?**

- а) механічні характеристики міцності;
- б) механічні характеристики жорсткості;
- в) пружні властивості матеріалу;
- г) пластичні властивості матеріалу.

**11 Що називається коефіцієнтом Пуассона?**

- а) відношення подовжньої деформації до поперечної, узяті по абсолютній величині;
- б) відношення поперечної деформації до подовжньої, узяті по абсолютній величині;
- в) різниця між поперечною деформацією і подовжньою, узяті по абсолютній величині;
- г) сума поперечної деформації і подовжньої, узяті по абсолютній величині.

**12 В якому випадку виникає деформація розтяг - стиск?**

- а) сила ( $F$ ) паралельна поперечному перетину стержня;
- б) сила ( $F$ ) створює скрутний момент;
- в) сила ( $F$ ) перпендикулярна поперечному перетину стержня;
- г) сила ( $F$ ) перпендикулярна поперечному перетину стержня та направлена вздовж його осі.

**14 Яка одиниця вимірювання абсолютної деформації?**

- а) мм;
- б) відсотки;
- в) безрозмірна величина;
- г) мм<sup>2</sup>

**15 Як позначається відносне подовження?**

- а)  $\varepsilon$  ;
- б)  $\Delta l$ ;
- в)  $\mu$ ;
- г)  $E$ .

**16 Як позначається абсолютна подовжня деформація?**

- а)  $\varepsilon$  ;
- б)  $\Delta l$ ;
- в)  $\mu$ ;
- г)  $E$ .

**17 Після якої точки на діаграмі розтягу з'являється залишкова деформація?**

- а) А;
- б) В;
- в) С;
- г) К.

**18 Яка точка діаграми розтягу відповідає моменту появи “шийки” на зразку?**

- а) А;
- б) В;
- в) С;
- г) D.

**19 Яка ділянка діаграми розтягу відповідає зоні зміцнення матеріалу?**

- а) ОА;
- б) ВС;
- в) ОВ;
- г) CD.

**20 Після якої точки навантаження на діаграмі розтягу починаються пластичні деформації?**

- а) А;
- б) В;
- в) С;
- г) D.

**21 До якої точки на діаграмі розтягу можна навантажувати зразок, щоб після розвантаження довжина зразка не змінилась?**

- а) А;
- б) В;
- в) С;
- г) D.

**22 До якої точки навантаження матеріал підкоряється закону Гука?**

- а) А;
- б) В;
- в) С;
- г) D.

**23 Чому зменшується навантаження перед розривом зразка?**

- а) зміцнюється матеріал;
- б) утворюється шийка;
- в) зменшуються деформації;
- г) зростають деформації.

## **Лабораторна робота №3**

### **ВИПРОБУВАННЯ НА СТИСК СТАЛІ, ЧАВУНУ І ДЕРЕВА**

**МЕТА РОБОТИ** - дослідження поведінки сталі, чавуну і дерева при стиску та визначення основних механічних характеристик міцності.

#### **1 ВКАЗІВКИ З ПІДГОТОВКИ ДО РОБОТИ**

##### **1.1 Завдання для самостійної підготовки**

Під час підготовки до роботи з'ясувати що таке ізотропні та анізотропні матеріали. Чим відрізняється стиск від розтягу. Які деформації виникають при стиску пластичних та крихких матеріалів. Для чого потрібна діаграма тиску, в яких координатах її будують. Які властивості мають сталь, чавун та дерево при стиску. Які механічні характеристики міцності мають випробувальні матеріали при стиску.

##### **1.2 Питання для самопідготовки**

- 1.2.1 Що таке міцність?
- 1.2.2 Що таке ізотропний матеріал?
- 1.2.3 Що таке анізотропний матеріал?
- 1.2.4 Що називають пружністю?
- 1.2.5 Що називають текучістю?
- 1.2.6 Для чого потрібна діаграма стиску?
- 1.2.7 Зразки якої форми використовують при випробуваннях на стиск?
- 1.2.8 Що таке залишкові деформації?
- 1.2.9 Як записати закон Гука при розтягу – стиску?
- 1.2.8 Як відрізняється стиск крихких матеріалів від стиску пластичних матеріалів?

##### **1.3 Рекомендована література**

1 Механіка матеріалів і конструкцій. Лаб. роботи. Навч. посібник для вузів / Цурпал І.А., Пастушенко С.І. і др.- Київ: Аграрна освіта, 2001.-272 с.

2 Цурпал І.А. Механіка матеріалів і конструкцій /І.А.Цурпал - К.: Вища освіта, 2005. -367 с.

## **2 ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ РОБОТИ**

### **2.1 Програма роботи**

- дати формулювання поняття „міцність”;
- дати пояснення коли виникає деформація стиску;
- розглянути зразки, які використовують для випробувань на стиск;
- зробити обміри зразків і записати результати в журнал спостережень;
- розрахувати площу поперечного перерізу зразків;
- перевірити готовність установки до експерименту, встановити випробувальний зразок на опорну поверхню;
- провести експерименти і за результатами дослідів побудувати діаграми стиску матеріалів в масштабі;
- визначити, які властивості мають матеріали при центральному стиску;
- визначити за допомогою діаграми значення навантажень, що відповідають визначеним властивостям;
- визначити значення механічних характеристик міцності для випробувальних матеріалів;
- розрахунки занести в журнал спостережень;
- відповісти на контрольні запитання;
- захистити лабораторну роботу у викладача.

### **2.3 Теоретичні відомості**

Випробування на стиск - основні при визначенні механічних характеристик крихких матеріалів, таких, як чавун, дерево, будівельні матеріали тощо. На відміну від випробувань на розтяг випробування на стиск мають наступні особливості:

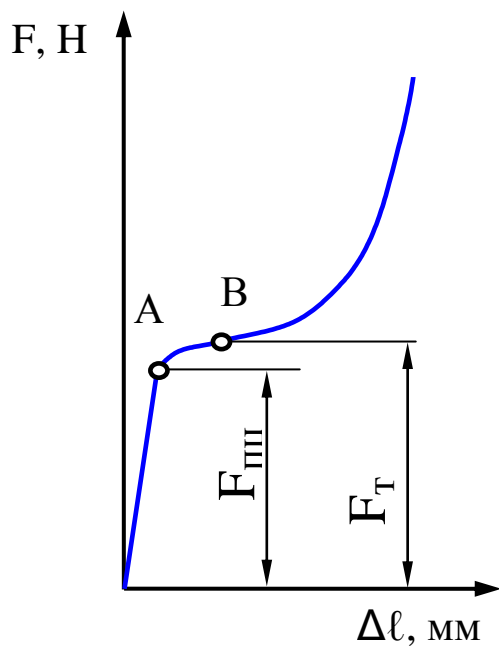
- 1) в процесі випробування пластичні матеріали можуть стискуватись, не руйнуючись, а крихи - руйнуються;
- 2) характеристики міцності і пластичності циліндричного зразка при випробуваннях на стиск суттєво залежать від відношення висоти зразка до його діаметра;
- 3) на результати випробувань значно впливають умови тертя по торцях зразка.

Під дією стискуючого навантаження різні матеріали ведуть себе по-різному.

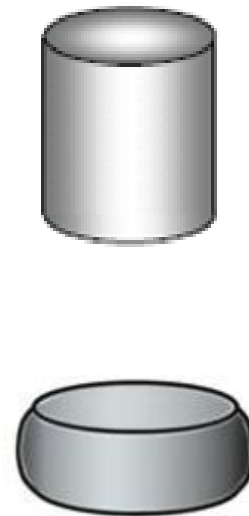


Для випробувань на стиск використовуємо два види зразків ізотропні і анізотропні. **Ізотропними** називаються матеріали, які не змінюють свої властивості в різних напрямленнях. Матеріали, що змінюють свої властивості в залежності від напрямлення, називаються **анізотропними**. Для випробувань в якості ізотропних матеріалів використовуються сталь, як пластичний і чавун, як крихкий матеріал. Зразки з них виготовляють циліндричної форми із розмірами  $h = 30$  мм,  $d = 20$  мм. В якості анізотропних матеріалів використовують дерев'яні зразки кубічної форми із розмірами  $40 \times 40 \times 40$  мм. Зразки встановлюють на опорну плиту нижньої поперечини установки, притискаючи його до верхньої опорної плити

**Сталь.** При стиску сталюого зразка до деякого навантаження  $F_{\text{пл}}$  (рисунок 3.1,а) спостерігається пропорційна залежність між деформацією і навантаженням, що викликало її.



а)



б)

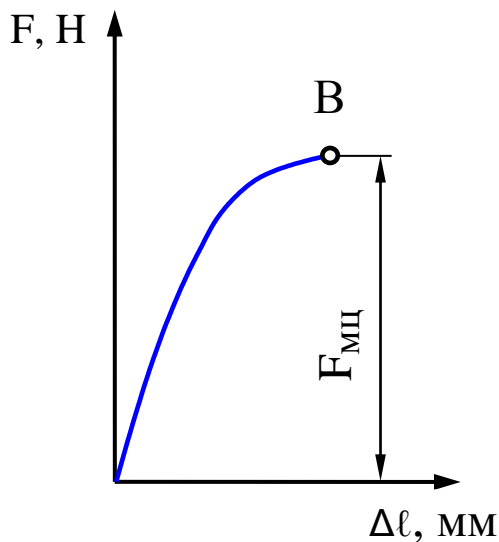
Рисунок 3.1 – Діаграма стиску сталі (а) і зразок в процесі деформування (б).

Відношення  $F_{\text{пл}}$  до початкової площі поперечного перерізу  $A_0$  називається границею пропорційності сталі при стиску:

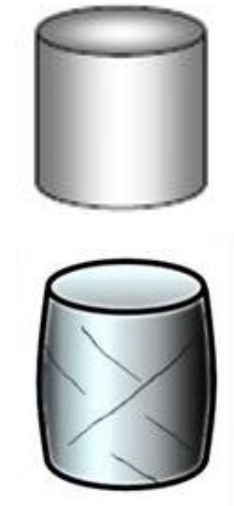
$$\sigma_{\text{мц}} = \frac{F_{\text{мц}}}{A_0}, \quad (3.1)$$

При збільшенні навантаження спостерігається значний ріст деформації, тобто, матеріал "тече", але без явно вираженої площадки текучості. Зразок приймає бочкоподібну форму (рисунок 3.1,б) внаслідок наявності тертя між торцями зразка і поверхнями стискуючих плит. Щоб збільшити подальшу деформацію, стискаюче навантаження різко збільшується. Зразок не зруйнується, а розплющиться під дією нормальних напружень. Пластичні матеріали при стиску не мають границі міцності, тобто їх можна розплющити до отримання фольги. Чітко виражена тільки границя пропорційності.

**Чавун.** При стиску чавунного зразка практично з початку навантаження і до руйнування спостерігається нелінійна залежність між навантаженням і деформацією. Можна сказати, що матеріал не підкоряється закону Гука, а значення модуля пружності  $E$  не є постійною величиною, воно змінюється в залежності від величини того напруження, для якого ми визначаємо деформацію.



а)



б)

Рисунок 3.2 – Діаграма стиску чавуну (а) і зразок із нього в процесі деформування (б).

Однак в умовах тих невеликих деформацій, при яких матеріал використовують в різних деталях машин і споруд, діаграма **F-Δh** являє собою лінію малої кривизни (рисунок 3.2а), тобто відхилення від закону Гука незначне. Тому в практичних розрахунках вважають, що матеріал підкоряється закону Гука, а значення модуля пружності **E** постійним.

Чітко виражене тільки руйнівне навантаження **F<sub>мц</sub>**, яке до того ж і є максимальним. Відношення **F<sub>мц</sub>** до початкової площини **A<sub>0</sub>** поперечного перерізу називають границею міцності **σ<sub>мц</sub>** або тимчасовим опором **σ<sub>т.м.</sub>** чавуну при стиску:

$$\sigma_{\text{мц}} = \sigma_{\text{т.м.}} = \frac{F_{\text{мц}}}{A_0}, \quad (3.2)$$

Зразок, вкорочуючись, приймає бочкоподібну форму (рисунок 3.2б). Це свідчить про наявність невеликих пластичних деформацій. Руйнування виникає по площинах, нахилених до осі зразка приблизно на кут **α = 40°...50°**, тобто, під дією максимальних дотичних напружень. При руйнуванні навантажувальна здатність чавуну падає практично миттєво, що характерно для крихких матеріалів. Слід пам'ятати, що величина **σ<sub>мц</sub>**, значно залежить від умов випробування і відношення висоти **h** до діаметра **d** зразка. Навіть вигляд руйнування крихких матеріалів залежить від відношення висоти до діаметра.

**Необхідно відмітити, що зазвичай крихкі матеріали опираються стиску краще ніж розтягу.** Це в значній мірі обмежує область їх використання.

**Дерево.** Випробування дерев'яного зразка як представника анізотропних матеріалів проводять вздовж (рисунок 3.3б) і поперек (рисунок 3.3в) волокон. Отримані діаграми стиску різко відрізняються одна від одної.

Діаграма **F-Δh** стиску зразка вздовж волокон (рисунок 3.3а), зовні схожа на діаграму стиску чавуна. Між силою **F** і деформацією **Δh** на початку навантаження спостерігається незначна нелінійна залежність, причому нелінійність зростає у міру збільшення навантаження.

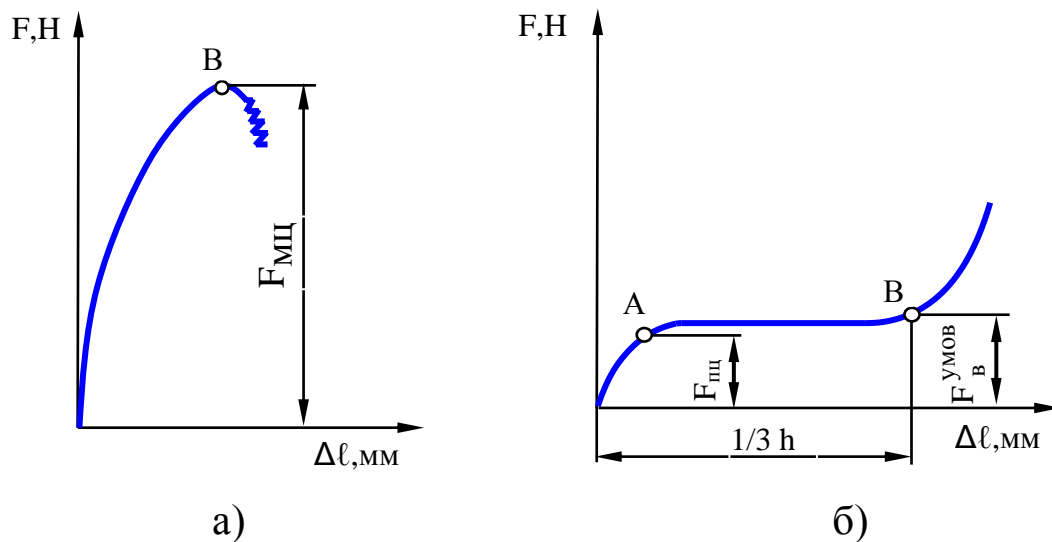


Рисунок 3.3 - Діаграми стиску дерева вздовж волокон (а) і дерева поперек волокон (б).

По досягненню граничного навантаження  $F_{\text{мц}}$  зразок починає руйнуватися шляхом сколювання, що супроводжується характерним тріском (рисунок 3.4а). Відношення  $F_{\text{мц}}$  до початкової площі  $A_0$  поперечного перерізу зразка називають границею міцності  $\sigma_{\text{мц}}$  або тимчасовим опором  $\sigma_{\text{т.м.}}$  дерева вздовж волокон:

$$\sigma_{\text{мц}} = \sigma_{\text{т.м.}} = \frac{F_{\text{мц}}}{A_0}, \quad (3.3)$$

В звичайних умовах руйнування проходить з утворенням поперечних складок і зминання торців.

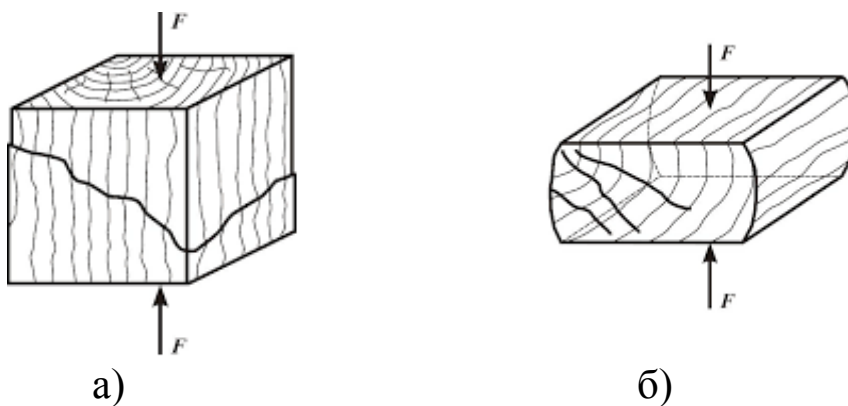


Рисунок 3.4 – Зразок дерева після руйнування вздовж волокон (а) і поперек волокон (б).

При стиску зразка поперек волокон діаграма  $F-\Delta h$  має інший вигляд (рисунок 3.4б). До деякої точки  $A$  спостерігається пропорційна залежність між силою і деформацією. Це дозволяє визначити границю пропорційності, що являє собою відношення  $F_{\text{пц}}$  до початкової площі  $A_0$  поперечного перерізу:

$$\sigma_{\text{пц}} = \frac{F_{\text{пц}}}{A_0}, \quad (3.4)$$

З подальшим збільшенням навантаження деревина значно ущільнюється без видимих ознак руйнування зразка (рисунок 3.4б). Момент втрати несучої властивості зафіксувати немає можливості. Тому за руйнівну силу  $F'_{\text{мц}}$  приймають умовно таку силу, при дії якої деформація (ущільнення) зразка по висоті досягає  $1/3$  початкового значення, тобто  $h = 1/3 h$ . Відношення  $F'_{\text{мц}}$  до  $A_0$  називають умовною границею міцності  $\sigma'_{\text{мц}}$  дерева при стиску поперек волокон:

$$\sigma'_{\text{мц}} = \frac{F'_{\text{мц}}}{A_0}, \quad (3.5)$$

Порівнюючи діаграми стиску дерева вздовж і поперек волокон з'ясовується, що при стиску до руйнування вздовж волокон зразок має значно менші деформації, ніж при стиску впоперек волокон; характер руйнування в обох випадках різний. Міцність зразка в першому випадку в 7... 10 разів вище, ніж у другому. Коефіцієнт анізотропії, що характеризує різні механічні властивості дерева вздовж і поперек волокон, являє собою відношення границі міцності при стиску вздовж волокон до границі міцності при стиску поперек волокон:

$$K = \frac{\sigma_{\text{мц}}}{\sigma'_{\text{мц}}}, \quad (3.6)$$

Таким чином крихкі і пластичні матеріали мають різні протилежні властивості у відношенні їх опору простому стиску або розтягу. Крихкі матеріали погано опираються розтягу і ударам, чутливі до місцевих напружень і не потерпають виправлення форми виготовлених з них елементів. Пластичні матеріали таких недоліків не мають, тому пластичність є одним із найважливіших якостей матеріалу. Крихкі матеріали зазвичай дешевші і мають високу границю міцності при стиску, тому можуть бути використані при статичному навантаженні.

### **2.3 Оснащення робочого місця**

- установка, підготовлена до проведення експерименту;
- сталевий і чавунний циліндричні зразки;
- дерев'яні зразки – 2 шт.;
- штангенциркуль;
- методичні вказівки до виконання лабораторної роботи;
- калькулятор, олівець, лінійка;
- звіт з лабораторної роботи.

### **2.4 Інструкція з охорони праці**

#### **2.4.1 Загальні вимоги**

До лабораторної роботи допускаються студенти, які пройшли інструктаж по техніці безпеки при проведенні лабораторних робіт на кафедрі «Технічна механіка та комп'ютерне проектування ім. професора В.М. Найдиша», що зареєстровано записом у відповідному журналі.

#### **2.4.2 При підготовці до лабораторної роботи**

- до початку лабораторної роботи кожен студент зобов'язаний ознайомитись з правилами безпеки при виконанні роботи;
- не починати виконання експериментальної частини без відповідного розпорядження викладача або лаборанта.

#### **2.4.3 Під час виконання роботи**

- не тримати на робочому місці сторонні предмети;
- не переходити самовільно на інші робочі місця і не пересуватися без потреби по лабораторії;
- при роботі з установкою чітко дотримуватись рекомендацій лаборанта.

2.4.4 Після закінчення експериментальної частини роботи\_ здати робоче місце лаборанту або викладачу.

2.4.5 У разі виникнення пожежі необхідно негайно проінформувати викладача або лаборанта, подзвонити по номеру 101.

## **2.5 Рекомендації щодо виконання роботи й оформлення звіту**

- чітко і ясно формулювати основні поняття по даній роботі;
- не заважати один одному при виконанні експериментальної частини роботи;
- при підстановці вихідних даних у формули дотримуватись єдиних одиниць вимірювання;
- при формулюванні висновків слід надати порівняльну оцінку результатів, отриманих експериментальним і теоретичним шляхом;
- відповіді на контрольні запитання повинні відображати рівень засвоєння матеріалу, бути короткими, точними і по суті запитання;
- заповнений бланк лабораторної роботи підписується виконавцем і зараховується у формі співбесіди з викладачем.

## **5 ЗВІТНІСТЬ ПО РОБОТІ**

Звіт з лабораторної роботи оформлюється на спеціальному бланку розробленому кафедрою ТМКП ім. професора В.М. Найдиша і містить необхідні положення для виконання лабораторної роботи (форма звіту додається).

**Таврійський державний агротехнологічний університет  
імені Дмитра Моторного**

Кафедра «Технічна механіка та комп'ютерне проектування  
ім. професора В.М. Найдиша»

Звіт по лабораторній роботі № 3  
з дисципліни «Технічна механіка»

**«ВИПРОБУВАННЯ НА СТИСК СТАЛІ, ЧАВУНУ І ДЕРЕВА»**

**Мета роботи:** дослідження поведінки сталі, чавуну і дерева при стиску та визначення основних механічних характеристик міцності.

**1 Випробування сталі і чавуну на стиск**

Випробувальні матеріали належать до групи ізотропних, які не змінюють свої властивості в залежності від напрямлення.

1.1 Ескізи зразків – для випробувань використовують зразки циліндричної форми, які наведено на рисунку 1.

До випробування

Після випробування

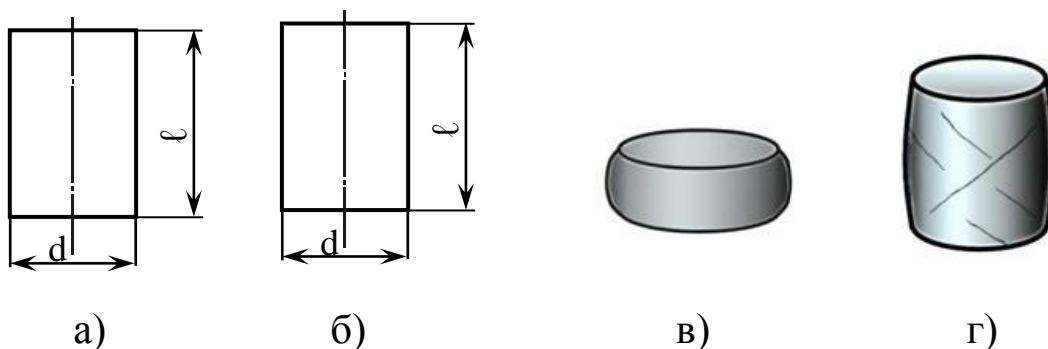


Рисунок 1 – Стальний (а) та чавунний (б) зразки до випробування та після випробування (в, г).

**1.2 Дані обміру зразків зводимо до таблиці 1**

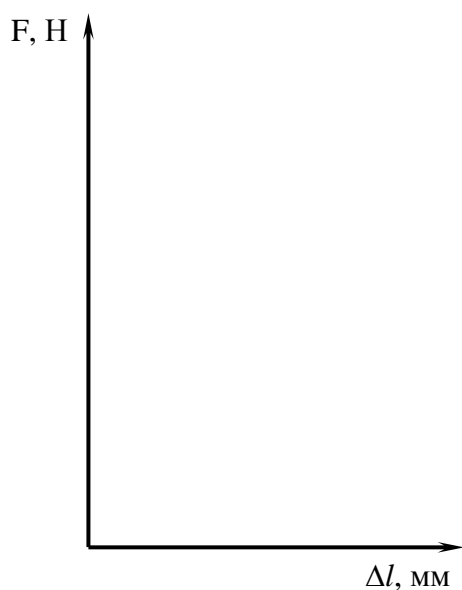
Таблиця 1 – Данні обміру зразків

Величини	Сталь	Чавун
1 Діаметр $d$ , мм		
2 Довжина $l$ , мм		
3 Площа поперечного перерізу $A$ , мм <sup>2</sup>		

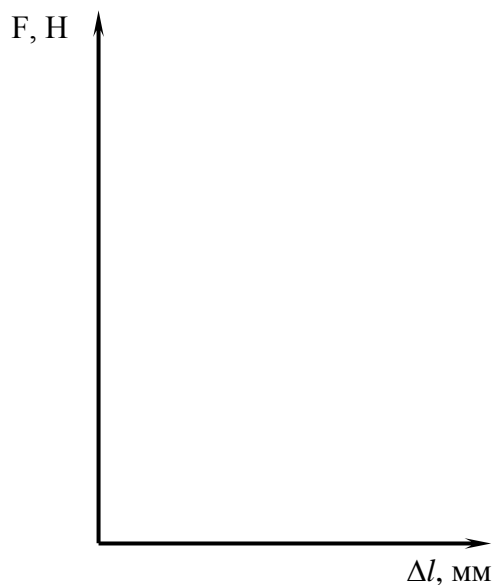


## 1.4 Діаграми стиску

### 1.4.1 Сталь



### 1.4.2 Чавун



**Масштаби:** навантаження  $\mu_F = 3000 \text{ Н/мм}$ ;  
 подовження  $\mu_{\Delta l} = 0,5 \text{ мм/мм}$

## 1.3 Наслідки випробувань

Величини	Позначення	Сталь	Чавун
Максимальне навантаження, Н			
Максимальне напруження, МПа			
Навантаження, відповідне границі текучості, Н			
Границя текучості, МПа			
Руйнівальне навантаження, Н			
Границя міцності, МПа			

2 Випробування дерева, що належить до групи анізотропних матеріалів.

Для випробувань використовують зразки кубічної форми, які випробують вздовж та поперек волокон.

## 2.1 Ескізи зразків

### 2.1.1 До випробування

### 2.1.2 Після випробування

Уздовж волокон



Поперек волокон



а)

б)

Рисунок 2 – Ескізи дерев'яних зразків до (а) та після (б) випробування

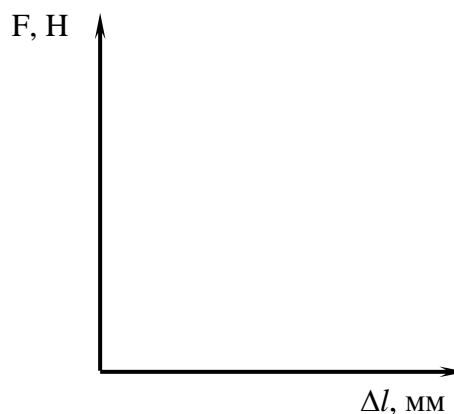
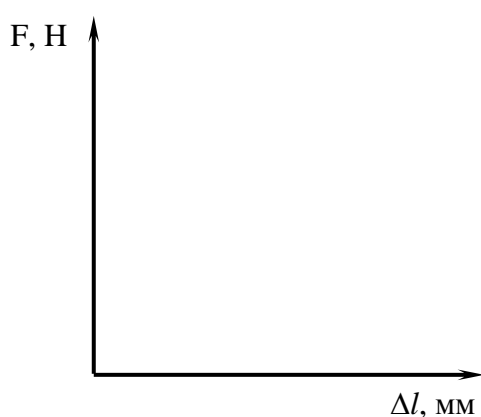
## 2.2 Дані обміру зразків та результати випробувань

Величини	Позн.	Вздовж	Поперек
Площа поперечного перерізу, мм <sup>2</sup>	<b>A</b>		
Навантаження, що відповідає границі міцності, Н	<b>F<sub>B</sub></b>		
Границя міцності, Н/мм <sup>2</sup>	<b>σ<sub>B</sub></b>		

## 2.3 Діаграми стиску деревини

Вздовж волокон

Поперек волокон



### **Масштаби:**

навантаження  $\mu_F = 1500 \text{ Н/мм}$ ; навантаження  $\mu_F = 600 \text{ Н/мм}$ ;  
подовження  $\mu_{\Delta l} = 0,5 \text{ мм/мм}$ ; подовження  $\mu_{\Delta l} = 0,5 \text{ мм/мм}$ ;

### **3 Контрольні запитання**

#### **3.1 Чавун**

3.1.1 Чи підкоряється випробуваний матеріал закону Гука?

---

3.1.2 Характер і причини руйнування зразка?

---

3.1.3 Як призначити для чавуна допустимі напруження?

#### **3.2 Сталь**

3.2.1 Чи підкоряється випробуваний матеріал закону Гука? Які деформації по характеру та величині?

---

3.2.2 Характер та причини руйнування зразка?

---

3.2.3 Як призначити для сталі допустимі напруження?

#### **3.3 Дерево**

3.3.1 Яка поведінка дерева при стиску уздовж волокон?

---

3.3.2 Яка поведінка дерева при стиску поперек волокон?

---

3.3.3 У чому умовність визначення границі міцності при стиску деревини поперек волокон?

---

Роботу виконав \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_  
(підпис) (П.І.Б. студента)

Відмітка про залік \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_  
(підпис) (дата) (П.І.Б. викладача)

#### **4 Критерії оцінювання лабораторної роботи**

Максимальна оцінка складає 10 балів. Оцінювання здійснюється шляхом тестування (письмового або за допомогою ПЕОМ) у відсотках від кількості вірних відповідей. Мінімальна сприйнятлива кількість вірних відповідей складає 60% тобто 6 балів.

#### **Тести до теми «Випробування на стиск сталі, чавуну та дерева»**

**1 Яке співвідношення розмірів висоти до діаметра  $h/d$  використовують при випробуванні на стиск зразка циліндричної форми?**

- а) 1...2;
- б) 2...4;
- в) 5...10;
- г) 20...50.

**2 Зразки якої форми використовують при випробуванні на стиск сталі?**

- а) циліндричної;
- б) прямокутного;
- в) паралелепіпеда;
- г) трикутного.

**3 Зразки якої форми використовують при випробуванні на стиск чавуну?**

- а) циліндричної;
- б) прямокутного;
- в) паралелепіпеда;
- г) трикутного.

**4 Зразки якої форми використовують при випробуванні на стиск деревини?**

- а) циліндричної;
- б) прямокутного;
- в) паралелепіпеда;
- г) трикутного.

**5 Який матеріал має анізотропні властивості?**

- а) деревина;
- б) сталь;
- в) чавун;
- г) всі мають.

**6 Які матеріали при стиску не мають границі міцності?**

- а) пластичні матеріали (сталь);
- б) крихкі матеріали (чавун);
- в) дерево вздовж;
- г) дерево поперек.

**7 Яку механічну характеристику не можна визначити при стиску маловуглецевої сталі (пластичний матеріал)?**

- а) границю міцності;
- б) границю пропорційності;
- в) границю текучості;
- г) границю пружності.

**8 В яких координатних вісях на випробувальній машині записується діаграма при стиску зразків ?**

- а)  $F, \Delta \ell$ ;
- б)  $F, \ell$ ;
- в)  $\sigma, \varepsilon$ ;
- г)  $F, \varepsilon$ .

**9 Як руйнується при стиску зразок із пластичного матеріалу?**

- а) не руйнується, а розплющується;
- б) розтріскується;
- в) руйнується по площинах близько до кута 45°;
- г) пресується.

**10 Як руйнується при стиску зразок із крихкого матеріалу-чавуну?**

- а) руйнується по площинах близько до кута 45°;
- б) розтріскується;
- в) не руйнується, а розплющується;
- г) пресується.

**11 Як руйнується зразок із деревини при стиску його вздовж волокон?**

- а) розтріскується та зминаються торці зразка;
- б) зпресовується;
- в) руйнується по площинах близько до кута 45°;
- г) розплющується.

**12 Як руйнується зразок з деревини при стиску його поперек волокон?**

- а) розтріскується та зминаються торці зразка;
- б) зпресовується;
- в) руйнується по площинах близько до кута 45°;
- г) розплющується.

**13 Яка механічна характеристика для м'якої сталі однакова при стиску і розтягу?**

- а) границя пропорційності;
- б) границя міцності;
- в) абсолютна деформація;
- г) відносна залишкова деформація.

**14 При стиску зразка якого матеріалу з початку навантаження спостерігається нелінійна залежність між силою і деформацією?**

- а) чавуну;
- б) сталі;
- в) деревини вздовж;
- г) деревини поперек.

**15 Яка механічна характеристика визначається при стиску зразка з чавуну?**

- а) границя міцності;
- б) границя пропорційності;
- в) границя текучості;
- г) границя пружності.

**16 Чому при стиску сталі та чавуну зразки приймають бочкоподібну форму?**

- а) внаслідок наявності тертя між торцями зразків і поверхнями стискуючих плит;
- б) внаслідок відсутності поздовжньої деформації;
- в) внаслідок відсутності поперечної деформації;
- г) внаслідок текучості.

**17 Яка механічна характеристика визначається при стиску зразка з деревини вздовж волокон?**

- а) границя міцності;
- б) границя пропорційності;
- в) границя текучості;
- г) границя пружності.

**18 При визначені границі міцності дерева при стиску поперек волокон умовно приймають таку силу, при дії якої ...**

- а) деформація (ущільнення) зразка по висоті досягає  $1/3$  початкового значення;
- б) деформація зразка по висоті досягає  $1/2$  початкового значення;
- в) деформація зразка досягає  $0,2\%$  початкового значення;
- г) деформація зразка досягає  $100\%$  початкового значення.

**19 Як відрізняється міцність деревини при стиску вздовж і поперек волокон?**

- а) міцність значно вище при стиску вздовж волокон;
- б) міцність однакова;
- в) міцність значно вище при стиску поперек волокон;
- г) міцність відрізняється незначно.

**20 Яка механічна характеристика визначається як небезпечна при стиску м'якої сталі?**

- а) границя текучості;
- б) границя міцності;
- в) границя пропорційності;
- г) границя пружності.

**21 Яка механічна характеристика визначається як небезпечна при стиску крихких матеріалів(чавуну)?**

- а) границя міцності;
- б) границя текучості;
- в) границя пропорційності;
- г) границя пружності.

**22 Яка механічна характеристика визначається як небезпечна при стиску деревини вздовж волокон?**

- а) границя міцності;
- б) границя текучості;
- в) границя пропорційності;
- г) границя пружності.

**23 Чому руйнування чавунного зразку при стиску проходить по нахилених площадках під кутом 45°?**

- а) там діють максимальні дотичні напруження;
- б) там діють найбільші стискаючі напруження;
- в) там найбільша деформація;
- г) там діють максимальні нормальні напруження.

**24 Яка механічна характеристика визначається як небезпечна при стиску деревини поперек волокон?**

- а) умовна границя міцності;
- б) границя пропорційності;
- в) границя текучості;
- г) границя пружності.

**25 Яка площа перерізу зразків використовується при розрахунках механічних характеристик міцності при стиску матеріалів?**

- а) початкова площа перерізу;
- б) площа перерізу після навантаження;
- в) площа шийки.

**26 При порівнянні механічних характеристик міцності при розтягу і стиску пластичних матеріалів (м'якої сталі) можна зробити висновок:**

- а) пластичний матеріал однаково працює на розтяг і стиск;
- б) пластичний матеріал краще працює при розтягу;
- в) пластичний матеріал краще працює при стиску.

**27 При порівнянні механічних характеристик міцності при розтягу і стиску крихких матеріалів (чавуну) можна зробити висновок:**

- а) крихкий матеріал краще працює при стиску;
- б) крихкий матеріал краще працює при розтягу;
- в) крихкий матеріал однаково працює на розтяг і стиск.

**28 При порівнянні механічних характеристик міцності при стиску деревини вздовж і поперек волокон можна зробити висновок:**

- а) деревина краще працює на стиск вздовж волокон;
- б) деревина краще працює на стиск поперек волокон;
- в) міцність деревини однакова при стиску вздовж і поперек волокон.



## Лабораторна робота № 4

### ВИПРОБУВАННЯ СТАЛІ ТА ЧАВУНУ НА КРУЧЕННЯ

#### Методичні вказівки до лабораторної роботи № 4

**МЕТА РОБОТИ** - дослідження поведінки сталі і чавуну при крученні та визначення основних характеристик міцності.

#### 1 ВКАЗІВКИ З ПІДГОТОВКИ ДО РОБОТИ

##### 1.1 Завдання для самостійної підготовки

Під час підготовки до роботи з'ясувати, чим відрізняються деформація кручення від деформації розтяг – стиск, які при цьому в перерізах валу виникають напруження і які навантаження треба прикласти, щоб виникла ця деформація.

##### 1.2 Питання для самопідготовки

1.2.1 Які зразки використовують при випробуванні матеріалів на кручення?

1.2.2 Як змінюються лінійні розміри зразка при крученні?

1.2.3 Які матеріали підкоряються закону Гука при крученні?

1.2.4 У яких координатах записується на випробувальній машині діаграма кручення?

1.2.5 Який матеріал - сталь, або чавун краще опирається крученню?

1.2.6 Як відносно осі зразка діють дотичні напруження в поперечному перерізі при крученні?

1.2.7 Як відносно осі зразка при крученні чавуну діють головні нормальні напруження?

1.2.8 Закон розподілу напружень по перерізу вала?

1.2.9 Під дією якого навантаження виникає деформація кручення?

1.2.10 Як визначають діаметр внутрішнього отвору вала?

1.2.11 З якою метою виконують внутрішній отвір вала?

- 1.2.12 Умова міцності та жорсткості при крученні вала?
- 1.2.13 Як визначають максимальне напруження в перерізі вала?
- 1.2.14 Чим характеризується жорсткість вала?
- 1.2.15 Як визначають внутрішні моменти в перерізі вала?
- 1.2.16 Чим відрізняється модуль пружності II роду від модуля Юнга ?

### **1.3 Рекомендована література**

1 Механіка матеріалів і конструкцій. Лаб. роботи. Навч. посібник для вузів / Цурпал І.А., Пастушенко С.І. і др.- Київ: Аграрна освіта, 2001.-272 с.

2 Цурпал І.А. Механіка матеріалів і конструкцій /І.А.Цурпал - К.: Вища освіта, 2005. -367 с.

## **2 ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ РОБОТИ**

### **2.1 Програма роботи**

2.1.1 Вимірити діаметр зразка не менше, ніж в трьох місцях.

2.1.2 Підготувати діаграмний апарат випробувальної машини КМ-50 до роботи.

2.1.3 Включити випробувальну машину КМ-50 і довести зразок до руйнування.

2.1.4 Після випробувань опрацювати діаграму кручення, тобто визначити механічні характеристики матеріалів.

2.1.5 Замалювати ескізи зруйнованих зразків.

2.1.6 Відповіді на контрольні запитання по темі роботи повинні бути по суті запитання, точними і короткими.

2.1.7 Повністю заповнений і правильно оформлений звіт з лабораторної роботи підписується виконавцем і зараховується у формі співбесіди викладачем.

### **2.2 Оснащення робочого місця**

2.2.1 Методичні вказівки

2.2.2 Наочні стенди, навчальна та технічна література

### **2.3 Теоретичні відомості**

#### **2.3.1 Кручення валів**

Деформація кручення виникає при дії на брус пар сил, що лежать у площині, перпендикулярних до його осі.

Поперечне навантаження, яке зміщено відносно осі стрижня, також викликає момент, що крутить, але в цьому випадку в поперечному перетині крім *внутрішніх крутильних* моментів виникають поперечні сили та згинальні моменти.

Для визначення внутрішніх крутильних моментів, що виникають у перетинах вала, використовується метод перетинів, при цьому для наочного уявлення про характер розподілу і значення моментів по довжині валу, будують епюри моментів з використанням правила знаків.

Зовнішній момент, що крутить, вважається позитивним, якщо він спрямований проти годинної стрілки і негативним по годинній стрілки.

**Залежність зовнішніх моментів від потужності і числа обертів двигуна.**

Як відомо, основними параметрами, які характеризують любий механічний і електричний привід, є потужність і число обертів двигуна. Тому переданий крутильний момент визначається по цих параметрах. І виражається він залежністю:

$$M_k = 9740 \frac{N}{n}, \quad M_k = \frac{N}{\omega}, \quad (4.1)$$

де  $M_k$  - крутильний момент, (Н·м)

$N$  - потужність (Вт)

$\omega$  - кутова швидкість (рад/с).

### 2.3.2 Розрахунок валів з умови міцності і жорсткості

Розрахунок валів на міцність ведуть по допустимим напруженням при крученні.

*Умова міцності :*

$$\tau_{\max} = \frac{M_{\max}}{W_{\rho}} \leq [\tau] \quad \text{або} \quad \tau_{\max} = \frac{M_{\max}}{0,2d^3} \leq [\tau], \quad (4.2)$$

де  $W_{\rho}$  - полярний момент опору, мм<sup>3</sup>.

$$W_{\rho} = \frac{\pi \cdot d^3}{16} \approx 0,2 \cdot d^3, \quad (4.3)$$

Звідки діаметр вала дорівнює:  $d = \sqrt[3]{\frac{M_{\max}}{0,2[\tau]}}$ .

Для забезпечення нормальної роботи вала необхідно, щоб його деформації не перевищували допустимих, тому вали перевіряють на жорсткість.

*Умова жорсткості:*

$$\varphi_{\max} = \frac{M_{\max} \cdot l}{G \cdot I_{\rho}} \leq [\varphi] \quad \text{або} \quad \varphi_{\max} = \frac{M_{\max} \cdot l}{G \cdot 0,1d^4} \leq [\varphi], \quad (4.4)$$

де  $I_{\rho}$  - полярний момент інерції, мм<sup>4</sup>;

$$I_{\rho} = \frac{\pi \cdot d^4}{32} \approx 0,1 \cdot d^4, \quad (4.5)$$

$[\varphi]$  - допустимий кут закручування;

$[\varphi] = 0,0026 \dots 0,0053$  рад - для різних умов роботи

$l$  – погонна довжина валу ;

$M_{\max}$  – максимальне значення внутрішнього моменту.

Звідки діаметр вала дорівнює: 
$$d = \sqrt[4]{\frac{M_{\max} \cdot l}{G \cdot 0,1[\varphi]}}$$

## 2.4 Оснащення робочого місця

- зразки для іспитів;
- штангенциркуль 0-200 мм, лінійка;
- методичні вказівки по виконанню лабораторної роботи;
- звіт з лабораторної роботи;
- калькулятор.

## 2.5 Інструкція з охорони праці

### 2.5.1 Загальні вимоги

До даної лабораторної роботи допускаються студенти, які пройшли інструктаж по техніці безпеки при проведенні лабораторних робіт на кафедрі «Технічна механіка та комп'ютерне проектування ім. професора В.М. Найдиша», що й зареєстровано записом у відповідному журналі.

### 2.5.2 При підготовці до лабораторної роботи:

- до початку лабораторної роботи кожен студент зобов'язаний ознайомитися з правилами безпеки при

виконанні роботи, знати де у лабораторії знаходиться аптечка і засоби пожежогасіння;

- не починати виконання експериментальної частини роботи без відповідного розпорядження викладача.

#### 2.5.3 Під час виконання роботи:

- не тримати на робочому місці сторонні предмети;
- не переходити самовільно на інші робочі місця і не пересуватися без потреби, по лабораторії;

- не застосовувати мірильний інструмент не за призначенням;

- не скупчуватись навколо робочого місця, дбати про вільні проходи до аптечки та інвентарю пожежогасіння;

#### 2.5.4 Після закінчення експериментальної частини роботи:

- розташувати натурні зразки, наочні посібники і інструмент на робочому місці у тому порядку, як вони були розміщені перед початком роботи;

- здати робоче місце лаборанту або викладачу.

#### 2.5.5 У разі виникнення пожежі необхідно негайно проінформувати викладача або лаборанта, подзвонити по номеру 101.

## 2.6 Вказівки по виконанню роботи

#### 2.6.1 При формулюванні понять “деформація” потрібно слідкувати за тим, щоб це формулювання повністю відображало б фізичну суть даного поняття, було точним, без лишніх слів і повторень.

#### 2.6.2 При наведенні класифікації типів та видів деформацій треба поділити її по суті та змісту .

#### 2.6.3 При наведенні деформації, що виникають в зразку в процесі навантаження треба поділити їх на пружні та залишкові.

#### 2.6.4 При відповіді на питання про зниження навантаження для чавуна треба пояснити вплив його якісних характеристик на хрупкість.

#### 2.6.5 При формулюванні висновків по лабораторній роботі слід дати аналіз усього процесу іспиту зразка.

2.6.6 Відповіді на контрольні запитання по темі роботи повинні відображати ступінь засвоєння учбового матеріалу, бути по суті запитання, точними і короткими.

2.6.7 Повністю заповнений і правильно оформлений звіт з лабораторної роботи підписується виконавцем і зараховується у формі співбесіди викладачем.

### **З ЗВІТНІСТЬ ПО РОБОТІ**

Звіт з лабораторної роботи оформлюється на спеціальному бланку розробленому кафедрою ТМКП ім. професора В.М. Найдиша і містить необхідні положення для виконання лабораторної роботи (форма звіту додається).

#### **Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного**

Кафедра «Технічна механіка та комп'ютерне проектування  
ім. професора В.М. Найдиша»

Звіт по лабораторній роботі № 4  
з дисципліни «Технічна механіка»

### **ВИПРОБУВАННЯ НА КРУЧЕННЯ СТАЛІ ТА ЧАВУНУ**

**Мета роботи:** дослідження поведінки сталі і чавуну при крученні та визначення основних характеристик міцності.

**Зміст роботи:** дослідити поведінку сталі і чавуну при крученні. Ознайомитись з методикою визначення основних характеристик міцності сталі та чавуну при крученні.

#### **1 Ескізи зразків**

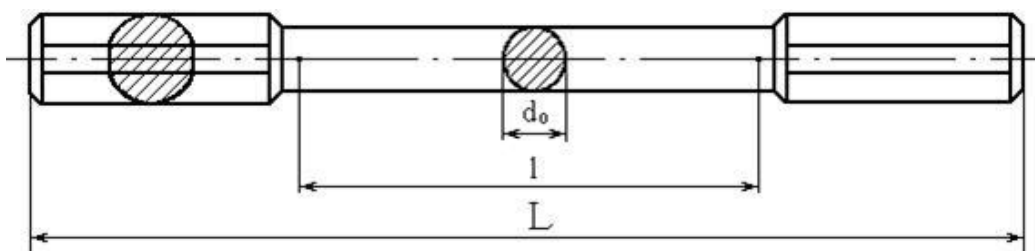
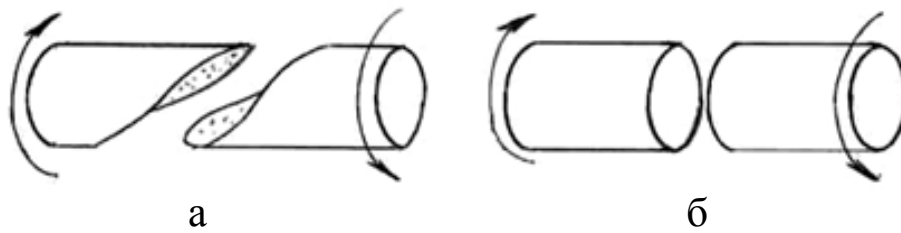


Рисунок 1 – Ескіз зразків (сталю та чавуну) до випробування



а – чавунний зразок; б – сталевий зразок  
Рисунок 2 – Ескізи зразків після випробування

Таблиця 1 - Дані обміру зразків

Розміри	Сталь	Чавун
Діаметр $d$ , мм		
Робоча довжина $l$ , мм		
Полярний момент опору $W_p$ , мм <sup>3</sup>		

## 2 Результати випробувань та розрахунок механічних характеристик

Таблиця 2 - Дані випробувань

Навантаження і деформації	Сталь	Чавун
Крутильний момент, границі пропорційності $M_{пц}$ , Н·м		
Крутильний момент, границі текучості $M_T$ , Н·м		
Руйнівальний крутильний момент $M_p$ , Н·м		
Повний кут закручування до руйнування $\varphi$ , рад		

$$2.1 \quad \varphi_m = \frac{\ell}{r} \cdot \gamma \cdot \frac{180}{\pi} =$$

$$2.2 \quad \tau_{m_i} = \frac{M_{m_i}}{W_p} =$$

$$2.3 \quad \tau_m = \frac{M_m}{W_p} =$$

$$2.4 \quad \tau_{p\text{ ст}} = \frac{M_p}{W_p} =$$

$$\tau_{p\text{ чав}} = \frac{M_p}{W_p} =$$

$$2.5 \quad \theta_{\text{ст}} = \frac{\varphi^o}{\ell} =$$

$$\theta_{\text{чав}} = \frac{\varphi^o}{\ell} =$$

Таблиця 3 - Результати випробування

Величини	Сталь	Чавун
Границя пропорційності $\tau_{\text{пц}}$ , Н/мм <sup>2</sup>		
Границя текучості $\tau_{\text{т}}$ , Н/мм <sup>2</sup>		
Границя міцності $\tau_{\text{р}}$ , Н/мм <sup>2</sup>		
Відносний повний кут закручування $\theta$ , град/мм		

### 3 Діаграма кручення

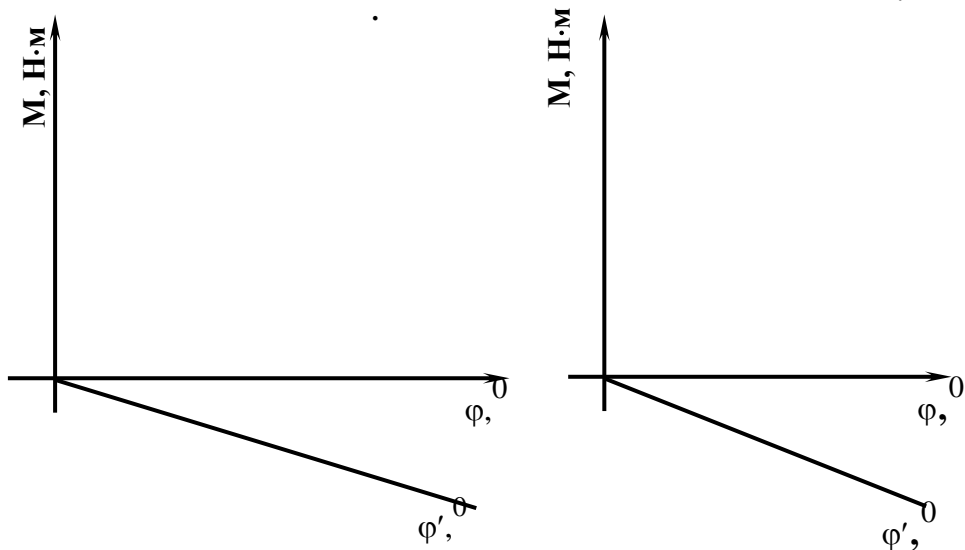


Рисунок 3 – Діаграми кручення

**Масштаби:** крутильного моменту  $\mu_M =$  Н·м/мм;  
кута закручування  $\mu_\varphi =$  град/мм



## 4 Контрольні запитання

4.1 Який зв'язок між навантаженням та деформацією на початку випробування?

---

4.2 Чому руйнування чавунного зразка відбувається при меншому куті закручування в порівнянні зі стальним?

---

4.3 Під дією яких напружень здійснились руйнування сталюого та чавунного зразків при крученні?

---

4.4 Де виникають максимальні дотичні напруження у поперечному перерізі зразка при крученні?

---

Роботу виконав \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_  
(підпис) (П.І.Б. студента)

Відмітка про залік \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_  
(підпис) (дата) (П.І.Б. викладача)

## 4 Критерії оцінювання лабораторної роботи

Максимальна оцінка складає 10 балів. Оцінювання здійснюється шляхом тестування (письмового або за допомогою ПЕОМ) у відсотках від кількості вірних відповідей. Мінімальна сприйнятлива кількість вірних відповідей складає 60% тобто 6 балів.

## **Тести до теми «Випробування сталі та чавуну на кручення»**

**1 Які зразки використовують при випробуванні матеріалів на кручення?**

- а) круглого перерізу;
- б) прямокутного перерізу;
- в) кільцевидного;
- г) трикутного.

**2 В яких одиницях вимірюється модуль пружності другого роду (модуль зсуву)  $G$  ?**

- а) МПа;
- б) Н·мм;
- в) кН;
- г)  $\text{Н} \cdot \text{м}^2$ .

**3 Яким символом позначається дотичні напруження?**

- а)  $E$ ;
- б)  $F$ ;
- в)  $\sigma$ ;
- г)  $\tau$ .

**4 В яких одиницях вимірюється дотичні напруження ( $\tau$ )?**

- а)  $\text{Н}/\text{мм}^2$ ;
- б)  $\text{Н} \cdot \text{мм}^2$ ;
- в)  $\text{Н}/\text{мм}$ ;
- г)  $\text{Н}^2/\text{мм}^2$ .

**5 Від чого залежать допустимі дотичні напруження ( $[\tau]$ )?**

- а) від модуля пружності першого роду;
- б) від площі поперечного перетину;
- в) від властивостей матеріалу;
- г) від довжини стержня.

**6 Як змінюються лінійні розміри зразка при крученні?**

- а) не змінюються;
- б) діаметр зменшується, довжина зростає;
- в) діаметр зростає, довжина зменшується;
- г) діаметр та довжина зростають.

**7 Які матеріали підкоряються закону Гука?**

- а) сталь;
- б) чавун;
- в) і сталь і чавун;
- г) обидва не підкорюються.

**8 У яких координатах записується на випробувальній машині діаграма кручення?**

- а)  $M, \varphi$ ;
- б)  $F, \Delta \ell$ ;
- в)  $M, \Theta$ ;
- г)  $F, \varphi$ .

**9 Діаграма кручення записується для того, щоб:**

- а) визначити основні механічні характеристики міцності і пластичності матеріалів;
- б) визначити основні механічні характеристики міцності матеріалів;
- в) визначити основні механічні характеристики пластичності матеріалів;
- г) визначити деформації.

**10 Кут повороту одного перерізу відносно другого називається:**

- а) кутом закручування  $\varphi$ ;
- б) кутом нахилу;
- в) кутом зсуву  $\gamma$ ;
- г) кутом повороту.

**11 Який матеріал - сталь, або чавун краще опирається крученню?**

- а) сталь;
- б) сталь і чавун однаково опираються;
- в) чавун;
- г) обидва не опираються.

**12 Як відносно осі зразка діють дотичні напруження в поперечному перерізі при крученні?**

- а) перпендикулярно осі;
- б) паралельно осі;
- в) під кутом 45 градусів;
- г) під кутом 20 градусів.

**13 Які основні показники визначають по діаграмі кручення для сталюого зразка?**

- а) крутильні моменти, відповідні і границі пропорційності і границі текучості;
- б) крутильний момент, відповідний границі пропорційності;
- в) крутильний момент, відповідний границі текучості;
- г) кут закручування.

**14 Як відносно осі зразка при крученні чавуну діють головні нормальні напруження?**

- а) під кутом 45 градусів;
- б) паралельно осі зразка;
- в) перпендикулярно осі зразка;
- г) під кутом 20 градусів.

**15 Як відбулось руйнування сталюого зразка при крученні і під дією яких напружень?**

- а) зріз під дією дотичних напружень  $\tau$ ;
- б) відрив під дією нормальних напружень  $\sigma$ ;
- в) зсув вздовж осі зразка від дотичних напружень  $\tau$ ;
- г) сколювання вздовж осі зразка від дотичних напружень  $\tau$ .

**16 Як відбулось руйнування чавунного зразка і під дією яких напружень?**

- а) відрив під дією нормальних напружень  $\sigma$ ;
- б) зсув під дією дотичних напружень  $\tau$ ;
- в) зріз вздовж осі зразка від дотичних напружень  $\tau$ ;
- г) сколювання вздовж осі зразка від дотичних напружень  $\tau$ .

**17 Як розподілені дотичні напруження по площині круглого перерізу?**

- а) по прямолінійному закону;
- б) по параболічному закону;
- в) однакові по всій площині;
- г) по довільному закону.

**18 Зсув, коли в поперечних перерізах виникають тільки дотичні напруження, називається:**

- а) чистим;
- б) поперечним;
- в) повздовжнім;
- г) плоский.

**19 Величина, що характеризує жорсткість матеріалу при деформації зсуву називається:**

- а) модуль пружності II-го роду  $G$  ;
- б) модуль пружності I-го роду (модуль Юнга)  $E$  ;
- в) нормальне напруження  $\sigma$ ;
- г) дотичне напруження  $\tau$  .

**20 У скільки разів зменшиться максимальне напруження в поперечному перерізі зразка при крученні, якщо його діаметр збільшити у 2 рази?**

- а) в 3 рази;
- б) в 2 рази;
- в) в 6 раз;
- г) в 10 разів.

**21 Чи буде справедливим закон Гука при крученні, коли напруження не перевищує границі пропорційності?**

- а) так;
- б) ні;
- в) не обов'язково;
- г) частково.

**22 Мірою пластичності матеріалу при крученні є:**

- а) відносний кут закручування;
- б) відносне остаточне подовження;
- в) повний кут закручування зразка;
- г) відносне остаточне звуження.

**23 В яких точках поперечного перерізу зразка при крученні дотичні напруження приймають найбільші значення?**

- а) в крайніх точках перерізу;
- б) в середній точці перерізу;
- в) має постійне значення по всьому перерізу;
- г) на нейтральній лінії.

**24 Властивість опиратись деформації, тобто змінювати форму та розміри перерізу називається:**

- а) жорсткістю;
- б) пружністю;
- в) міцністю;
- г) стійкістю.

**25 Яка поведінка сталі при крученні?**

- а) закручується на відносно великий кут закручування і руйнується під дією дотичних напружень;
- б) закручується на відносно невеликий кут закручування і руйнується під дією нормальних напружень;
- в) не закручується, а зрізується вздовж осі зразка від дії дотичних напружень  $\tau$ ;
- г) закручується, не руйнується.

**26 Що належить до механічних характеристик пластичності при крученні?**

- а) повний кут закручування і відносний кут закручування;
- б) відносне остаточне подовження;
- в) відносне остаточне звуження;
- г) переміщення перерізу зразка.

**27 Деформація кручення викликається:**

- а) парою сил, що лежать у площинах, перпендикулярних до вісі стержня;
- б) парою сил, що лежать у площинах, паралельних до вісі стержня;
- в) зосередженою силою;
- г) парою довільних сил.

**28 Момент внутрішніх сил, що виникає в будь-якому перерізі валу при крученні і повертає цей переріз навколо поздовжньої осі називається:**

- а) крутильний момент;
- б) згинальний момент;
- в) зосереджений момент;
- г) переломний момент.

**29 В яких розрахунках використовують модуль пружності II-го роду?**

- а) в розрахунках на кручення;
- б) в розрахунках на розтяг;
- в) в розрахунках на згин;
- г) в розрахунках на стиск.

### **30 Що таке границя пропорційності?**

- а) це напруження, при якому матеріал підкоряється закону Гука;
- б) це напруження, при якому не виникають пластичні деформації;
- в) це напруження, при якому утворюється шийка зразка
- г) це напруження, при якому матеріал не підкоряється закону Гука.

### **31 Що таке границя текучості?**

- а) це напруження, при якому з'являються пластичні деформації;
- б) це напруження, при якому зразок видовжується без збільшення навантаження;
- в) це напруження, при якому утворюється шийка зразка;
- г) це напруження, при якому зразок руйнується.

### **32 Яка одиниця вимірювання відносного кута закручування?**

- а) град/мм;
- б) %;
- в) град;
- г) мм.

### **33 Як позначається модуль пружності II роду (модуль зсуву)?**

- а)  $G$ ;
- б)  $E$ ;
- в)  $\mu$ ;
- г)  $\varepsilon$ .

### **34 Від чого залежить модуль пружності II роду $G$ ?**

- а) від властивостей матеріалу;
- б) від навантаження;
- в) від розмірів деталі;
- г) від термообробки.

### **35 Який фізичний зміст модуля пружності II роду $G$ матеріалу?**

- а) характеризує жорсткість;
- б) характеризує міцність;
- в) характеризує стійкість;
- г) характеризує марку матеріалу.

## Лабораторна робота № 5

### ВИЗНАЧЕННЯ ТРЬОХ ПРУЖНИХ СТАЛИХ ВЕЛИЧИН $E$ , $G$ , $\mu$

#### Методичні вказівки до лабораторної роботи № 5

**МЕТА РОБОТИ** - ознайомлення з методикою вимірювання деформацій важільними тензометрами та визначення числових значень пружних сталих величин для сталі.

#### 1 ВКАЗІВКИ З САМОПІДГОТОВКИ ДО РОБОТИ

##### 1.1 Завдання для самостійної підготовки

Під час підготовки до роботи вивчити методику вимірювання деформацій. Для чого потрібно знати значення трьох пружних сталих величин? Де використовуються ці величини?

##### 1.2 Питання для самопідготовки

1.2.1 Який зв'язок між пружними сталими матеріалу?

1.2.2 Як позначається модуль Юнга(модуль поздовжньої пружності матеріалу)?

1.2.3 Який фізичний зміст модуля пружності матеріалу  $E$ ?

1.2.4 Від чого залежить модуль пружності при зсуві  $G$ ?

1.2.5 В яких розрахунках використовують модуль пружності другого роду  $G$ ?

1.2.6 Яка пружна стала величина пов'язує нормальні напруження і деформації при розтягу (стиску) матеріалу?

1.2.7 Яка пружна стала величина пов'язує дотичні напруження і кут зсуву при деформації зсуву?

##### 1.3 Рекомендована література

1 Писаренко Г.С. Опір матеріалів /Г.С. Писаренко, О.Л. Квітка, Е.С. Уманський; за ред. Г. С. Писаренка. – К.: Вища школа, 1993. - 655 с; іл.

2 Цурпал І.А. Механіка матеріалів і конструкцій /І.А.Цурпал - К.: Вища освіта, 2005. -367 с.

3 Гурняк Л.І. Опір матеріалів /Л.І.Гурняк, Ю.В.Гуцуляк, Т.В. Юзьків –Львів: "Новий світ - 2000", 2006. - 364 с.



## 2 ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ РОБОТИ

### 2.1 Програма роботи

- перевірити готовність машини УИМ-50 до роботи та установку зразка у захоплювачах;
- підібрати три тензометри з однаковою базою та закріпити їх на зразку згідно схеми;
- визначити початкове та максимальне навантаження, зробити експеримент та зняти показання тензометрів та динамометра машини;
- заповнити журнал спостережень;
- обробити результати випробувань;
- відповісти на контрольні запитання;
- захистити лабораторну роботу у викладача.

### 2.2 Оснащення робочого місця

#### 2.2.1 Методичні вказівки

#### 2.2.2 Наочні стенди, навчальна та технічна література

### 2.3 Теоретичні відомості

#### 2.3.1 Деформації та переміщення перерізів. Закон Гука

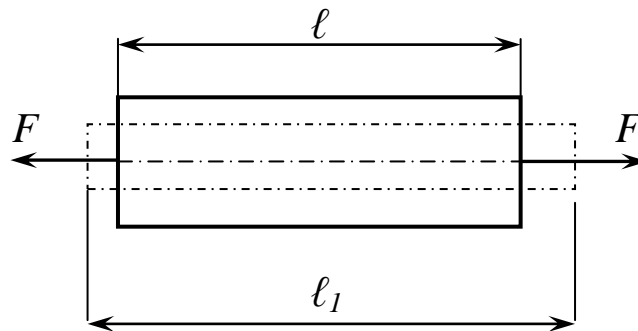


Рисунок 4.1 – Схема поздовжньої деформації

Абсолютну поздовжню деформацію бруса (рисунок 4.1) (подовження або укорочення) можна знайти:

$$\Delta \ell = \ell_1 - \ell, \quad (4.1)$$

Відносна поздовжня деформація

$$\varepsilon = \frac{\Delta \ell}{\ell}, \quad (4.2)$$

Напруження і деформації зв'язані між собою законом Гука:

$$\sigma = E \cdot \varepsilon, \quad (4.3)$$

де  $\sigma$  – нормальні напруження, МПа;  
 $E$  – модулем Юнга, МПа;  
 $\varepsilon$  – відносна повздовжня деформація (безрозмірна величина).

Коефіцієнт пропорційності  $E$  різний для різних матеріалів. Називається **модулем пружності** при розтягу (стиску) матеріалів або модулем Юнга. Модуль  $E$  характеризує жорсткість матеріалу. Величина модуля  $E$  встановлюється з експериментів з різними матеріалами і дорівнює:

для різних марок сталі	$E = (2,0 \dots 2,1) \cdot 10^5 \text{ МПа};$
для чавуну	$E = (1,15 \dots 1,6) \cdot 10^5 \text{ МПа};$
для міді	$E = 1,1 \cdot 10^5 \text{ МПа};$
для деревини (вздовж волокон)	$E = (0,1 \dots 0,12) \cdot 10^5 \text{ МПа};$
для каучуку	$E = 0,00008 \cdot 10^5 \text{ МПа}.$

Нормальне напруження пропорційне коефіцієнту деформації  $E$  і відносній деформації  $\varepsilon$  :

Якщо  $\sigma = \frac{N}{A}, \quad a \quad \varepsilon = \frac{\Delta \ell}{\ell}, \quad \text{то} \quad \frac{N}{A} = E \cdot \frac{\Delta \ell}{\ell}.$

Тоді

$$\Delta \ell = \frac{N \cdot \ell}{E \cdot A}, \quad (4.4)$$

Тобто абсолютне подовження (укорочення)  $\Delta \ell$  пропорційне зусиллю  $N$ , початковій довжині  $\ell$ , обернено пропорційне початковій площі, поперечному перерізу  $A$  і модулю пружності  $E$ .

При розтягу бруса поперечні розміри зменшуються, при стиску збільшуються. Це так звана поперечна деформація (рисунок 4.2).

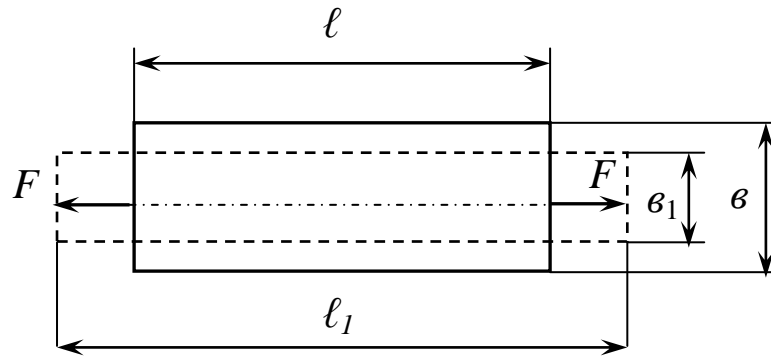


Рисунок 4.2 – Схема поперечної деформації

де  $\Delta v = (v - v_1)$  – абсолютна поперечна деформація, мм.

Зв'язок між відносною поперечною і відносною повздовжню деформаціями в межах пружних деформацій виражається формулою:

$$\varepsilon' = -\mu \cdot \varepsilon, \quad (4.5)$$

де  $\mu$  – безрозмірний коефіцієнт поперечної деформації (коефіцієнт Пуассона).

Коефіцієнт поперечної деформації  $\mu$ , як і модуль пружності  $E$ , характеризує пружні властивості матеріалу.

Для різних марок сталі  $\mu = 0,24 \dots 0,28$ ;

для чавуну  $\mu = 0,23 \dots 0,27$ ;

для каучуку  $\mu = 0,47$ .

Розглянемо напруження та деформації при об'ємному напруженому стані.

Визначимо величину зміни об'єму матеріалу при пружній деформації (рисунок 4.3).

Відносні деформації у напрямках дії головних напружень можуть бути вираховані як:

$$\varepsilon_1 = \frac{\sigma_1}{E} - \mu \frac{\sigma_2}{E} - \mu \frac{\sigma_3}{E} = \frac{1}{E} (\sigma_1 - \mu \sigma_2 - \mu \sigma_3), \quad (4.6)$$

$$\varepsilon_2 = \frac{\sigma_2}{E} - \mu \frac{\sigma_1}{E} - \mu \frac{\sigma_3}{E} = \frac{1}{E}(\sigma_2 - \mu\sigma_1 - \mu\sigma_3), \quad (4.7)$$

$$\varepsilon_3 = \frac{\sigma_3}{E} - \mu \frac{\sigma_2}{E} - \mu \frac{\sigma_1}{E} = \frac{1}{E}(\sigma_3 - \mu\sigma_2 - \mu\sigma_1), \quad (4.8)$$

Ці вирази називають ще узагальненим законом Гука.

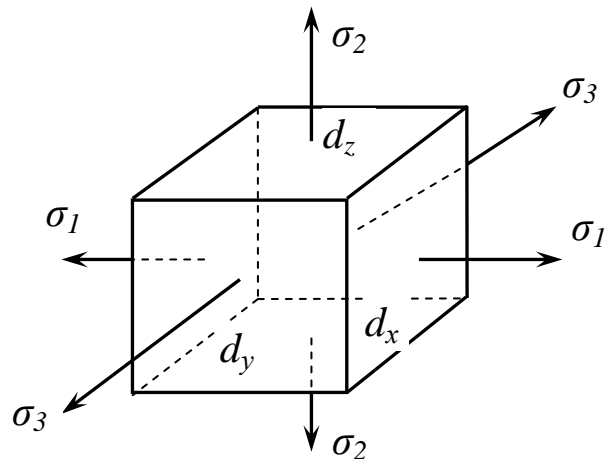


Рисунок 4.3 – Схема об'ємної деформації

Такі площадки, по яких діють тільки дотичні напруження, називають **площадками чистого зсуву**. Напружений стан, при якому по гранях елемента діють тільки дотичні напруження, називають **чистим зсувом** (рисунок 4.4).

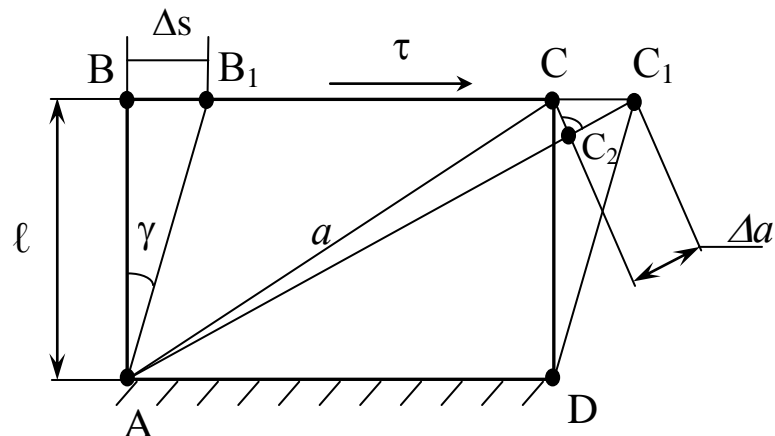


Рисунок 4.4 – Схема чистого зсуву

По бічних гранях такого паралелепіпеда будуть діяти тільки дотичні напруження  $\tau = \sigma$ ,  $\Delta s$  – абсолютний зсув,  $\gamma$  – кут зсуву, або відносний зсув.

З трикутника  $CC_1C_2$

$$\Delta a = \Delta s \cdot \sin \frac{\pi}{4}, \quad (4.9)$$

Підставивши  $\Delta a = \varepsilon \cdot a$  і  $\Delta s = \ell \cdot \gamma$ , матимемо

$$\varepsilon \cdot a = \gamma \cdot \ell \cdot \sin \frac{\pi}{4}, \quad (4.10)$$

Враховуючи, що  $\ell = a \cdot \sin \frac{\pi}{4}$  запишемо

$$\varepsilon = \gamma \cdot \sin^2 \frac{\pi}{4} = \frac{\gamma}{2}, \quad (4.11)$$

Застосувавши до волокна АС узагальнений закон Гука, можна записати

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} + \mu \frac{\sigma}{E}, \quad (4.12)$$

Підставивши значення  $\varepsilon$  дістанемо

$$\tau = \gamma \frac{E}{2(1+\mu)}, \quad (4.13)$$

Позначимо  $G = \frac{E}{2(1+\mu)}$ .

Тоді закон Гука при чистому зсуві:

$$\tau = G \cdot \gamma, \quad (4.14)$$

Якщо підставити у вираз  $\tau = \frac{Q}{A}$  та  $\gamma = \frac{\Delta s}{\ell}$ , матимемо формулу закону Гука при зсуві в абсолютних величинах:

$$\Delta s = \frac{Q \cdot \ell}{G \cdot A}, \quad (4.15)$$

де  $Q$  – зусилля, що діє по бічних гранях, Н ;  
 $A$  – площа бічної грані, м<sup>2</sup>.

Величину  $G$ , яка залежить від механічних властивостей матеріалу, називають модулем зсуву, або модулем другого роду.

Вираз

$$G = \frac{E}{2(1 + \mu)}, \quad (4.16)$$

являє собою залежність між трьома пружними станами для ізотропного тіла: модулем пружності при розтягу  $E$ , модулем пружності при зсуві  $G$  та коефіцієнтом Пуассона  $\mu$ .

#### **2.4 Оснащення робочого місця:**

- лабораторна установка – випробувальна машина УИМ -50;
- сталевий зразок прямокутного перерізу, встановлений у захоплювачах машини УИМ-50;
- тензометри;
- методичні вказівки з виконання лабораторної роботи;
- калькулятор, олівець, лінійка;
- звіт з лабораторної роботи.

#### **2.5 Інструкція з охорони праці**

##### **2.5.1 Загальні вимоги**

До даної лабораторної роботи допускаються студенти, які пройшли інструктаж по техніці безпеки при проведенні лабораторних робіт в лабораторії ММК, що й зареєстровано записом у відповідному журналі.

##### **2.5.2 При підготовці до лабораторної роботи:**

- до початку лабораторної роботи кожен студент зобов'язаний ознайомитися з правилами безпеки при виконанні роботи;
- не починати виконання експериментальної частини роботи без відповідного розпорядження викладача або лаборанта.

##### **2.5.3 Під час виконання роботи:**

- не тримати на робочому місці сторонні предмети;
- не переходити самовільно на інші робочі місця і не пересуватися без потреби по лабораторії;

- при роботі з установкою чітко дотримуватись рекомендацій лаборанта.

2.5.4 Після закінчення експериментальної частини роботи:

- вимкнути з мережі установку;
- розташувати наочні посібники і інструмент на робочому місці у тому порядку, як вони були розміщені перед початком роботи;
- здати робоче місце лаборанту або викладачу.

2.5.5 У разі виникнення пожежі необхідно негайно проінформувати викладача або лаборанта, подзвонити по номеру 101.

## **2.6 Рекомендації щодо виконання роботи й оформлення звіту:**

2.6.1 На зразок встановити важільні тензometri.

2.6.2 На шкалі силовимірювача випробувальної машини УИМ-50 робочу і контрольну стрілки встановити на «нуль».

2.6.3 Навантажити зразок ступінчасто 20кН, 40кН, 60кН ,80кН.

2.6.4 Для кожної ступені навантаження по показникам тензометрів визначити значення деформації і записати їх в журнал.

2.6.5 Результати випробувань опрацювати і визначити пружні сталі.

2.6.6 Повністю заповнений і правильно оформлений звіт з лабораторної роботи підписується виконавцем і зараховується у формі співбесіди з викладачем.

## **3 ЗВІТНІСТЬ ПО РОБОТІ**

Звіт з лабораторної роботи оформлюється на спеціальному бланку розробленому кафедрою ТМКП ім. професора В.М. Найдиша і містить необхідні положення для виконання лабораторної роботи (форма звіту додається).

**Таврійський державний агротехнологічний університет  
імені Дмитра Моторного**

Кафедра «Технічна механіка та комп'ютерне проектування  
ім. професора В.М. Найдиша»

Звіт по лабораторній роботі № 5  
з дисципліни «Технічна механіка»

**«ВИЗНАЧЕННЯ ТРЬОХ ПРУЖНИХ СТАЛИХ  
ВЕЛИЧИН  $E$ ,  $G$ ,  $\mu$ »**

**Мета роботи:** ознайомлення з методикою вимірювання деформацій важільним тензометром і визначення числових значень  $E$ ,  $G$ ,  $\mu$  для сталі.

**1 Схема установки та ескіз зразка.**

Модуль пружності I-го роду  $E$ , модуль пружності II-го роду  $G$ , коефіцієнт Пуассона  $\mu$  - це пружні сталі величини, що характеризують властивості матеріалу.

Для визначення цих величин використовуємо устаткування, яке наведено на рисунках 5.1 і 5.2.

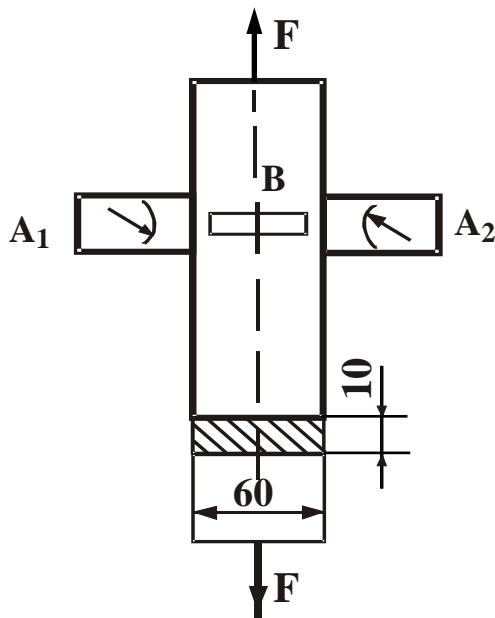


Рисунок 5.1 - Схема установки тензометрів та ескіз зразка

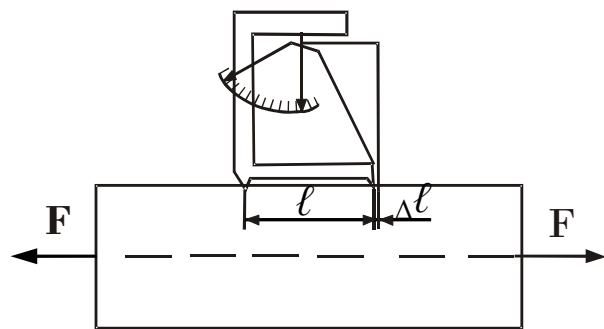


Рисунок 5.2 - Схема тензометра



Таблиця 1 – Дані про тензометри

Установлення тензометра	Позначення	База, мм	Коефіцієнт збільшення тензометра
Подовжнє	$A_1, A_2$		$K_A =$
Поперечне	$B$		$K_B =$

## 2 Результати випробувань

Випробування проводимо на універсальний випробувальний машині УИМ-50, навантажуюмо до границі пропорційності, до появи остаточної деформації. Результати експерименту заносимо до таблиці 2.

Таблиця 2 – Журнал спостережень

Навантаження кН		Показники тензометрів та їх прирощення					
$F$	$\Delta F$	$A_1$	$\Delta A_1$	$A_2$	$\Delta A_2$	$B$	$\Delta B$
0			-		-		-
20							
40							
60							
80							
$\Sigma$	-	-		-		-	

2.1 Обчислюємо значення поздовжньої та поперечної деформації:

$$\Delta A_{cp} = \frac{\sum (\Delta A_{1i} + \Delta A_{2i})}{2 \cdot i} =$$

$$\Delta B_{cp} = \frac{\sum \Delta B_i}{i} =$$

$$\Delta \varepsilon_{A_{cp}} = \frac{\Delta A_{cp}}{l_A \cdot K_A} =$$

$$\Delta \varepsilon_{B_{cp}} = \frac{\Delta B_{cp}}{l_B \cdot K_B} =$$

$$\text{Коефіцієнт Пуассона: } \mu = \left| \frac{\Delta \varepsilon_{B_{cp}}}{\Delta \varepsilon_{A_{cp}}} \right| =$$

$$\text{Модуль пружності I роду: } E = \frac{\Delta F}{A \cdot \Delta \varepsilon_{A_{cp}}} =$$

де А – площа поперечного перерізу зразка, А = 600 мм<sup>2</sup>

$$\text{Модуль пружності II роду: } G = \frac{E}{2 \cdot (1 + \mu)} =$$

Таблиця 3 – Порівняння отриманих результатів з довідковими даними.

Величина	Довідникові дані (для сталі)	Експериментальні дані
Е	$2 \cdot 10^5$ МПа	
G	$8 \cdot 10^4$ МПа	
μ	0,3	

### 3 Висновки:

---



---

### 4 Контрольні запитання

4.1 Яка фізична суть та розмірність Е, G і μ?

---

4.2 Застосування Е, G і μ

---

Роботу виконав \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_  
(підпис) (прізвище, ім'я та по батькові)

Відмітка про залік \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_  
(підпис) (дата) (прізвище викладача)

#### **4 Критерії оцінювання лабораторної роботи**

Максимальна оцінка складає 10 балів. Оцінювання здійснюється шляхом тестування (письмового або за допомогою ПЕОМ) у відсотках від кількості вірних відповідей. Мінімальна сприйнятлива кількість вірних відповідей складає 60% тобто 6 балів.

#### **Тести до теми «Визначення трьох пружних сталих величин E, G, $\mu$ »**

##### **1 Який зв'язок між пружними сталими матеріалу?**

а)  $G = \frac{E}{2 \cdot (1 + \mu)}$ ;

б)  $\tau = G \cdot \gamma$ ;

в)  $\sigma = E \cdot \varepsilon$ ;

г)  $\Delta \ell = \frac{N \cdot \ell}{E \cdot A}$ .

##### **2 Як позначається модуль Юнга(модуль поздовжньої пружності матеріалу)?**

а) E;

б) G;

в)  $\mu$ ;

г)  $\Delta \ell$ .

##### **3 Який фізичний зміст модуля пружності матеріалу E?**

а) характеризує жорсткість;

б) характеризує міцність;

в) характеризує стійкість;

г) характеризує пластичність.

##### **4 Який параметр характеризує жорсткість матеріалу при розтягу – стиску?**

а) модуль пружності I роду E;

б) модуль пружності II роду G;

в) границя міцності матеріалу  $\sigma_{\text{мц}}$ ;

г) коефіцієнт Пуассона  $\mu$ .

**5 Який параметр характеризує жорсткість при зсуві (зрізі)?**

- а) модуль пружності II роду  $G$ ;
- б) модуль пружності I роду  $E$ ;
- в) коефіцієнт Пуассона  $\mu$ ;
- г) границя міцності матеріалу  $\sigma$ .

**6 Яка пружна стала матеріалу характеризує зв'язок поперечної та повздовжньої деформації його?**

- а) коефіцієнт Пуассона  $\mu$ ;
- б) модуль пружності I роду  $E$ ;
- в) модуль пружності II роду  $G$ ;
- г) жодна.

**7 Як позначається модуль пружності матеріалу при зсуві?**

- а)  $G$ ;
- б)  $E$ ;
- в)  $\mu$ ;
- г)  $\Delta\ell$ .

**8 Яка одиниця вимірювання модуля Юнга матеріалу  $E$ ?**

- а)  $\text{Н/м}^2$  ;
- б)  $\text{Н/м}$  ;
- в)  $\text{Н} \cdot \text{м}$ ;
- г)  $\text{Н} \cdot \text{м}^2$  .

**9 Яка одиниця вимірювання модуля пружності матеріалу при зсуві  $G$ ?**

- а)  $\text{Н/м}^2$  ;
- б)  $\text{Н/м}$  ;
- в)  $\text{Н} \cdot \text{м}$ ;
- г)  $\text{Н} \cdot \text{м}^2$  .

**10 Яка одиниця вимірювання коефіцієнта Пуассона  $\mu$  для сталі?**

- а) безрозмірна величина;
- б) мм;
- в) відсотки;
- г) кг.

**11 Значення коефіцієнта Пуассона для сталі?**

- а)  $\mu = 0,3$ ;
- б)  $\mu = 0,5$ ;
- в)  $\mu = 0$ ;
- г)  $\mu = 1$ .

**12 Значення коефіцієнта Пуассона  $\mu = 0$ ?**

- а) для пробки;
- б) для чавуну;
- в) для сталі;
- г) для каучуку.

**13 Від чого залежить модуль пружності при зсуві  $G$ ?**

- а) від властивостей матеріалу;
- б) від розмірів деталі;
- в) від навантаження;
- г) від термообробки.

**14 Значення коефіцієнта Пуассона  $\mu = 0,5$  для**

- а) каучуку;
- б) пробки;
- в) чавуну;
- г) сталі.

**15 Від чого залежить пружна стала матеріалу  $E$ ?**

- а) від властивостей матеріалу;
- б) від розмірів деталі;
- в) від зовнішніх навантажень;
- г) від термообробки.

**16 Від чого залежить коефіцієнт Пуассона?**

- а) від властивостей матеріалу;
- б) від зовнішніх навантажень;
- в) від термообробки;
- г) від розмірів деталі.

**17 В яких розрахунках використовують модуль пружності другого роду  $G$ ?**

- а) в розрахунках вала на кручення;
- б) в розрахунках бруса на розтяг;
- в) в розрахунках балки на згин;
- г) в розрахунках балки на стиск.

**18 В яких розрахунках використовують модуль пружності першого роду  $E$ ?**

- а) в розрахунках на розтяг;
- б) в розрахунках на зріз;
- в) в розрахунках на кручення;
- г) в розрахунках на згин.

**19 Яка пружна стала величина зв'язує нормальні напруження і деформації при розтягу (стиску) матеріалу?**

- а) коефіцієнт Пуассона  $\mu$ ;
- б) модуль пружності I роду  $E$ ;
- в) модуль пружності II роду  $G$ ;
- г) жодна.

**20 Яка пружна стала величина зв'язує дотичні напруження і кут зсуву при деформації зсуву?**

- а) коефіцієнт Пуассона  $\mu$ ;
- б) модуль пружності I роду  $E$ ;
- в) модуль пружності II роду  $G$ ;
- г) жодна.

**21 Жорсткістю бруса при осьовому розтягу(стиску) називають добуток**

- а)  $E \cdot A$ ;
- б)  $G \cdot A$ ;
- в)  $G \cdot J_p$ ;
- г)  $F \cdot h$ .

**22 Жорсткість бруса при зсуві(зрізі)**

- а)  $E \cdot A$ ;
- б)  $G \cdot A$ ;
- в)  $G \cdot J_p$ ;
- г)  $F \cdot h$ .

**23 Жорсткістю бруса при крученні називають добуток**

- а)  $E \cdot A$ ;
- б)  $G \cdot A$ ;
- в)  $G \cdot J_p$ ;
- г)  $F \cdot h$ .

**24 Для розрахунку пружних сталих матеріалу треба експериментально виміряти при розтягу**

- а) абсолютні поздовжні та поперечні деформації зразка;
- б) відносну поздовжню деформацію зразка;
- в) відносну поперечну деформацію зразка;
- г) абсолютну поздовжню та відносну поперечну деформації зразка.

**25 Пружні сталі матеріалу експериментально визначаються при навантаженні зразка**

- а) при дії пружних деформацій;
- б) до появи текучості матеріалу;
- в) до появи найбільших напружень;
- г) до появи «шийки».

**26 Закон Гука при розтягу (стиску) зв'язує напруження з**

- а) відносною поздовжньою деформацією;
- б) абсолютною поздовжньою деформацією;
- в) відносною поперечною деформацією;
- г) абсолютною поперечною деформацією.

**27 Закон Гука при зсуві зв'язує напруження з**

- а) відносною поздовжньою деформацією;
- б) абсолютною поздовжньою деформацією;
- в) відносною поперечною деформацією;
- г) абсолютною поперечною деформацією.

**28 Напруження та деформації при розтягу(стиску) зв'язані у законі Гука**

- а) модулем пружності I роду  $E$ ;
- б) модулем пружності II роду  $G$ ;
- в) коефіцієнтом Пуассона  $\mu$ ;
- г) жодним.

**29 Напруження та деформації при зсуві(зрізі) зв'язані у законі Гука**

- а) модулем пружності I роду  $E$ ;
- б) модулем пружності II роду  $G$ ;
- в) коефіцієнтом Пуассона  $\mu$ ;
- г) жодним.

## **Лабораторна робота № 6**

### **ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ПЕРЕВІРКА ЗАКОНУ РОЗПОДІЛУ НОРМАЛЬНИХ НАПРУЖЕНЬ ПО ВИСОТІ ПЕРЕРІЗУ БАЛКИ**

#### **Методичні вказівки до лабораторної роботи № 6**

**МЕТА РОБОТИ** - перевірка закону розподілу нормальних напружень по висоті перерізу балки при чистому згині .

#### **1 ВКАЗІВКИ З САМОПІДГОТОВКИ ДО РОБОТИ**

##### **1.1 Завдання для самостійної підготовки**

Під час підготовки до роботи вивчити закон розподілу нормальних напружень по висоті для круглого і прямокутного перерізу балки.

##### **1.2 Питання для самопідготовки**

1.2.1 Який згин називають чистим?

1.2.2 Які силові фактори викликають нормальне напруження в поперечному перерізі балки?

1.2.3 Що таке нейтральний шар і нейтральна вісь і як вони розташовані?

1.2.4 Як розподілені нормальні напруження по перерізу балки?

1.2.5 Яка умова міцності балки при згині?

##### **1.3 Рекомендована література**

1 Механіка матеріалів і конструкцій. Лаб. роботи. Навч. посібник для вузів / Цурпал І.А., Пастушенко С.І. і др.- Київ: Аграрна освіта, 2001.-272 с.

2 Цурпал І.А. Механіка матеріалів і конструкцій /І.А.Цурпал - К.: Вища освіта, 2005. -367 с.



## 2 ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ РОБОТИ

### 2.1 Програма роботи

- підключити вимірювач деформацій до тензорезисторів, які знаходяться у зоні чистого згину;
- при навантаженні записати показники тензорезисторів;
- підрахувати напруження для усіх точок, де розташовані тензорезистори;
- визначити нормальні напруження по висоті переріза балки;
- відповісти на контрольні запитання;
- зарахувати лабораторну роботу у викладача.

### 2.2 Оснащення робочого місця

#### 2.2.1 Методичні вказівки

#### 2.2.2 Наочні стенди, навчальна та технічна література

### 2.3 Короткі теоретичні відомості

Розглянемо призматичний брус з вертикальною площиною симетрії (рисунок 6.1). Брус згинається парами сил  $M$ , розташованими по його кінцях.

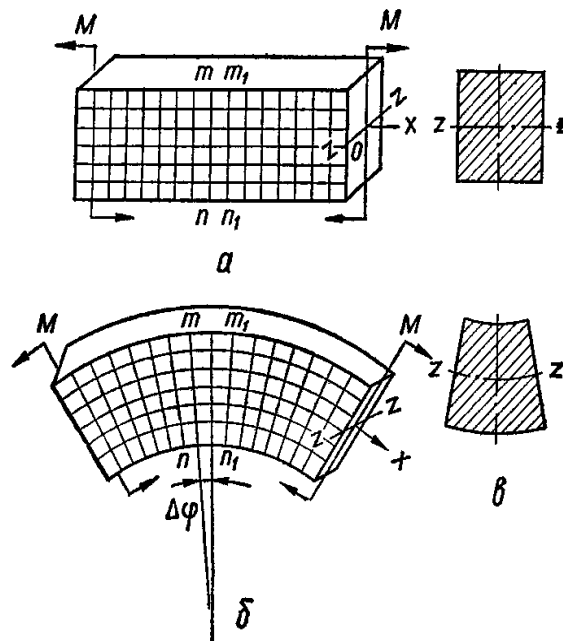


Рисунок 6.1 – Деформація бруса в площині симетрії

У будь якому поперечному перерізі такого бруса діятиме тільки згинальний момент, що дорівнює  $M$ ,

поперечна сила дорівнює нулю ( $M = \text{const}$ ). Такий згин є чистим згином (рисунок 6.1б).

Після згину виявляється:

а) первісно паралельні прямі  $m - n$ ,  $m_1 - n_1$  і після деформації бруса залишаються прямими, але обертаються одна відносно одної на деякий кут  $\Delta\varphi$ ;

б) у верхніх частинах бруса відстань між вертикальними лініями сітки збільшується, в той час як у нижніх частинах вона зменшується;

в) ширина перерізу бруса у верхній його частині дещо зменшується, а в нижній – збільшується.

Припущення, які покладені в основу елементарної теорії чистого згину:

1 при чистому згині первісні плоскі перерізи бруса не викривляються, залишаються плоскими і при деформації обертаються один відносно одного гіпотеза плоских перерізів);

2 поздовжні волокна бруса зазнають простого розтягування або стиску, не причиняючи взаємного бокового тиску.

Визначимо величину нормальних напружень, що виникають при чистому згині бруса. Для цього розглянемо деформацію ділянки бруса

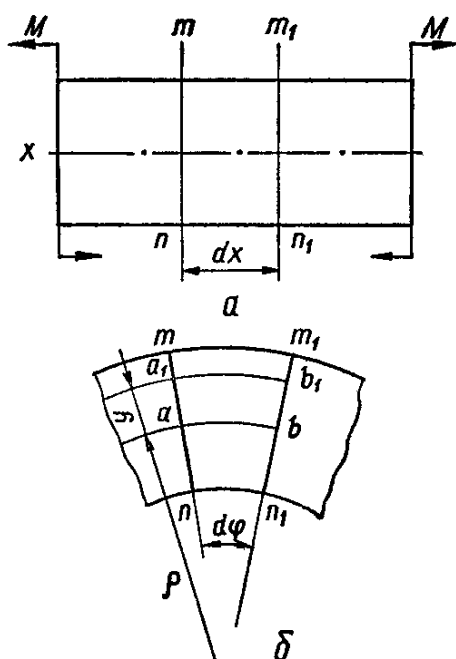


Рисунок 6.2 – Визначення нейтрального шару

вирізаної двома перерізами, розташованими на відстані  $dx$ .

Після деформації ця ділянка бруса має такий вигляд (рисунок 6.2).

Нейтральний шар зображений лінією  $ab$ ,  $ab = dx$ .

Нейтральний шар розділяє зону розтягу бруса від зони стиску, волокна нейтрального шару не зазнають ніякої деформації.

Лінія перетину нейтрального шару з площиною поперечного

перерізу бруса називається **нейтральною**. Позначимо радіус кривизни нейтрального шару через  $\rho$ , а кут взаємного повороту перерізів через  $d\varphi$ .

Розглянемо деформацію довільного волокна  $a_1b_1$ , розташованого на відстані  $y$  від нейтрального шару. До деформації довжина цього волокна  $dx = a\bar{b} = \rho \cdot d\varphi$ , після деформації:  $a_1b_1 = (\rho + y) \cdot d\varphi$ .

Подовження волокна:

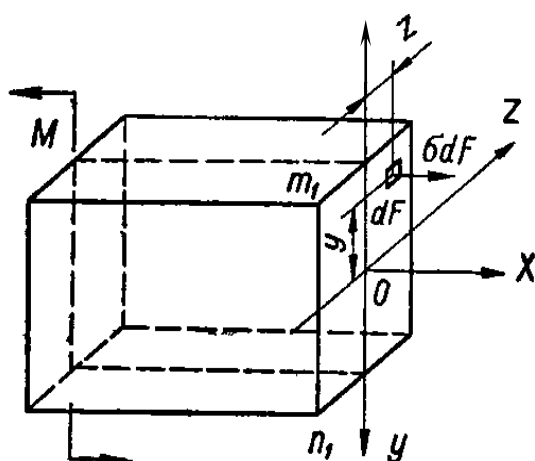
$$\Delta l = a_1b_1 - a\bar{b} = (\rho + y) \cdot d\varphi - \rho \cdot d\varphi.$$

$$\text{Відносне подовження: } \varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{\Delta l}{a\bar{b}} = \frac{y \cdot d\varphi}{\rho \cdot d\varphi} = \frac{y}{\rho}.$$

$$\text{За законом Гука} \quad \sigma = E \cdot \varepsilon = E \frac{y}{\rho}.$$

В цьому виразі  $\rho$  - невідома ще величина. Мислено розсічемо брус перерізом, перпендикулярно до його осі і розглянемо рівновагу лівої частини. Дію відкинутої правої частини на ліву замінюємо внутрішніми силами. На елементарній площадці  $dA$  з координатами  $y$  та  $z$  діє нормальне зусилля  $\sigma dA$  (рисунок 6.3).

Складемо рівняння рівноваги виділеної частини бруса.



Сума проекцій усіх сил на вісь  $x$ :

$$\int_{(A)} \sigma \cdot dA = 0.$$

Підставивши значення

$$\sigma = E \frac{y}{\rho}, \text{ одержимо:}$$

$$\int_{(A)} E \cdot \frac{y}{\rho} \cdot dA = \frac{E}{\rho} \cdot \int_{(A)} y \cdot dA = 0.$$

Рисунок 6.3 – Визначення напружень

При згині  $\rho \neq \infty$ , а  $E \neq 0$ , то і  $\frac{E}{\rho} \neq 0$ ,

отже  $\int_{(A)} y \cdot dA = 0$ , тобто  $\int_{(A)} y \cdot dA = S_Z = 0$ .

Статичний момент площі відносно осі дорівнює нулю тільки в тому випадку, якщо ця вісь проходить через центр ваги площі. Отже, нейтральна лінія при згині проходить через центр ваги поперечного перерізу.

Складемо друге рівняння рівноваги – суму моментів сил відносно нейтральної лінії:

$$-M + \int_{(A)} \sigma \cdot dA \cdot y = 0;$$

$$\int_{(A)} \sigma \cdot dA \cdot y = M.$$

Підставивши значення  $\sigma$ , одержимо:

$$\int_{(A)} \frac{E}{\rho} \cdot y^2 \cdot dA = M;$$

$$\frac{E}{\rho} \cdot \int_{(A)} y^2 \cdot dA = M;$$

$$\frac{E}{\rho} \cdot I_Z = M.$$

$\frac{1}{\rho} = \frac{M}{E \cdot J_Z}$  - це залежність між згинальним моментом і кривизною осі бруса при згині.  $E \cdot J_Z$  називається жорсткість бруса при згині. Підставляючи знайдене значення кривизни у формулу  $\sigma = E \cdot \frac{y}{\rho}$ , одержимо для нормальних напружень при чистому згині вираз:

$$\sigma = \frac{M}{J_Z} \cdot y, \quad (6.1)$$

Епюра нормальних напружень по висоті перерізу балки має вигляд (рисунок 6.4).

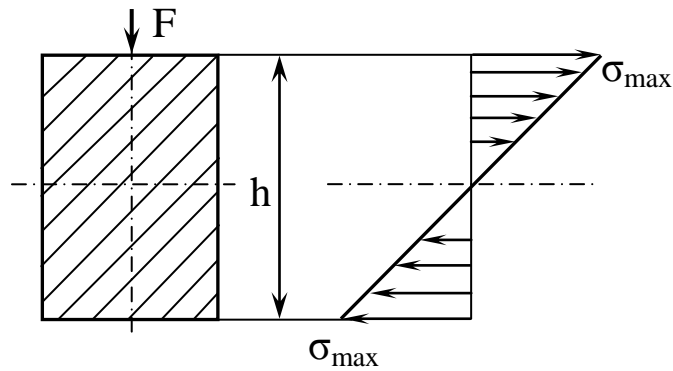


Рисунок 6.4 – Епюра нормальних напружень

Найбільші напруження діють у точках найбільш віддалених від нейтральної лінії, для яких  $y = y_{\max}$ .

### 2.3.1 Визначення умови міцності балки

Величину максимальних напружень у перерізі визначають за формулою:

$$\sigma_{\max} = \frac{M}{J_Z} \cdot y_{\max}, \quad (6.2)$$

Ввівши значення моменту опору  $W_Z = \frac{J_Z}{y_{\max}}$ , матимемо

$$\sigma_{\max} = \frac{M}{W_Z}, \quad (6.3)$$

Умова міцності балки:

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{W_Z} \leq [\sigma], \quad (6.4)$$

де  $W_Z$  – осьовий момент опору перерізу,  $\text{мм}^3$ .

Для прямокутного перерізу розміром  $b \times h$  матимемо:

$$W_Z = \frac{J_Z}{y_{\max}} = \frac{b \cdot h^3}{12 \cdot h/2} = \frac{b \cdot h^2}{6}; \quad W_Z = \frac{h \cdot b^2}{6}.$$

Для круглого перерізу діаметром  $d$

$$W_Z = \frac{J_Z}{0,5 \cdot d} = \frac{\pi \cdot d^4}{64 \cdot 0,5 \cdot d} = \frac{\pi \cdot d^3}{32} \approx 0,1 \cdot d^3.$$

Для порожнистого перерізу діаметром  $d$  і  $D$  матимемо відповідно

$$W_Z = \frac{J_Z}{0,5 \cdot D} = \frac{\pi \cdot D^4 \cdot (1 - \alpha^4)}{64 \cdot 0,5 \cdot D} = \frac{\pi \cdot D^3}{32} \cdot (1 - \alpha^4) \approx 0,1 \cdot D^3 \cdot (1 - \alpha^4),$$

де  $\alpha = d/D$ .

Осьові моменти опору прокатних профілів швелера та двотавра приведені в таблицях прокатних сортamentів.

## **2.4 Оснащення робочого місця**

- лабораторна установка – балка с тензорезисторами;
- індикатори;
- обчислювальний пристрій.

## **2.5 Інструкція з охорони праці**

### **2.5.1 Загальні вимоги**

До даної лабораторної роботи допускаються студенти, які пройшли інструктаж по техніці безпеки при проведенні лабораторних робіт в лабораторії ММК, що й зареєстровано записом у відповідному журналі.

### **2.5.2 При підготовці до лабораторної роботи:**

- до початку лабораторної роботи кожен студент зобов'язаний ознайомитися з правилами безпеки при виконанні роботи;
- не починати виконання експериментальної частини роботи без відповідного розпорядження викладача або лаборанта.

### **2.5.3 Під час виконання роботи:**

- не тримати на робочому місці сторонні предмети;
- не переходити самовільно на інші робочі місця і не пересуватися без потреби по лабораторії;
- не застосовувати мірильний інструмент не за призначенням;
- при роботі з макетними і натурними зразками додержуватись правила, щоб виміри і підрахунки проводила одна людина, при цьому слідкувати за тим, щоб руки колег не знаходились у небезпечних зонах.

2.5.4 Після закінчення експериментальної частини роботи:

- вимкнути з мережі установку;
- розташувати наочні посібники і інструмент на робочому місці у тому порядку, як вони були розміщені перед початком роботи;
- здати робоче місце лаборанту або викладачу.

2.5.5 У разі виникнення пожежі необхідно негайно проінформувати викладача або лаборанта, подзвонити по номеру 101.

## **2.6 Вказівки по виконанню роботи**

2.6.1 При складанні розрахункової схеми бажано застосовувати стандартні умовні позначення елементів балки.

2.6.2 Підключати вимірювач деформацій тільки до тензорезисторів, які знаходяться в зоні чистого згину.

2.6.3 Послідовно навантажити балку за допомогою гвинтового пристрою навантаженням 1 кН, 2 кН, 3 кН.

2.6.4 Підрахувати напруження для всіх точок, де розташовані тензорезистори.

2.6.5 Порівняти значення експериментальних і теоретичних напружень, визначити закон розподілу напружень по висоті переріза.

2.6.6 Відповіді на контрольні запитання по темі роботи повинні бути по суті запитання, точними і короткими.

2.6.7 Повністю заповнений і правильно оформлений звіт з лабораторної роботи підписується виконавцем і зараховується у формі співбесіди викладачем.

## **3 ЗВІТНІСТЬ ПО РОБОТІ**

Звіт з лабораторної роботи оформлюється на спеціальному бланку розробленому кафедрою ТМКП ім. професора В.М. Найдиша і містить необхідні положення для виконання лабораторної роботи (форма звіту додається).

**Таврійський державний агротехнологічний університет  
імені Дмитра Моторного**

Кафедра «Технічна механіка та комп'ютерне проектування  
ім. професора В.М. Найдиша»

Звіт по лабораторній роботі № 6  
з дисципліни «Технічна механіка»

**«ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ПЕРЕВІРКА ЗАКОНУ  
РОЗПОДІЛУ НОРМАЛЬНИХ НАПРУЖЕНЬ ПО ВИСОТІ  
ПЕРЕРІЗУ БАЛКИ»**

**Мета роботи:** перевірка закону розподілення нормальних напружень по висоті перерізу балки при чистому згині.

1 Методика проведення роботи

1.1 Підключити вимірювач деформацій до тензорезисторів, які знаходяться в зоні чистого згину.

1.2 Послідовно навантажити балку за допомогою гвинтового пристрою навантаженням 1 кН, 2 кН, 3 кН.

1.3 При кожному навантаженні записати с ВД показники тензорезисторів.

1.4 Підрахувати середню різницю  $\Delta^3$  по кожному тензорезистору для навантаження  $\Delta F = 1$  кН.

1.5 Підрахувати напруження для всіх точок, де розташовані тензорезистори за формулою:

$$\sigma_i = E \cdot \alpha \cdot \Delta_i,$$

де  $\alpha$  - ціна одиниці дискретності ВД,  $\alpha = 2,4 \cdot 10^{-6}$ ;

$E$  - модуль пружності балки (алюміній),  $E = 0,7 \cdot 10^5$  МПа .

1.6 Визначити нормальне напруження по висоті переріза (теоретичну):

$$\sigma^T = \frac{M_{max}}{J_{H.L.}} \cdot z,$$

де  $M_{max}$  - найбільший згинальний момент в поперечному перерізі балки, Н·м;



$J_{H.L.}$  – осьовий момент інерції переріза відносно нульової лінії,  $\text{мм}^4$ .

1.7 Побудувати епюру напружень по висоті переріза. Визначити на епюрі  $\sigma$  напруження, які знайдені експериментально.

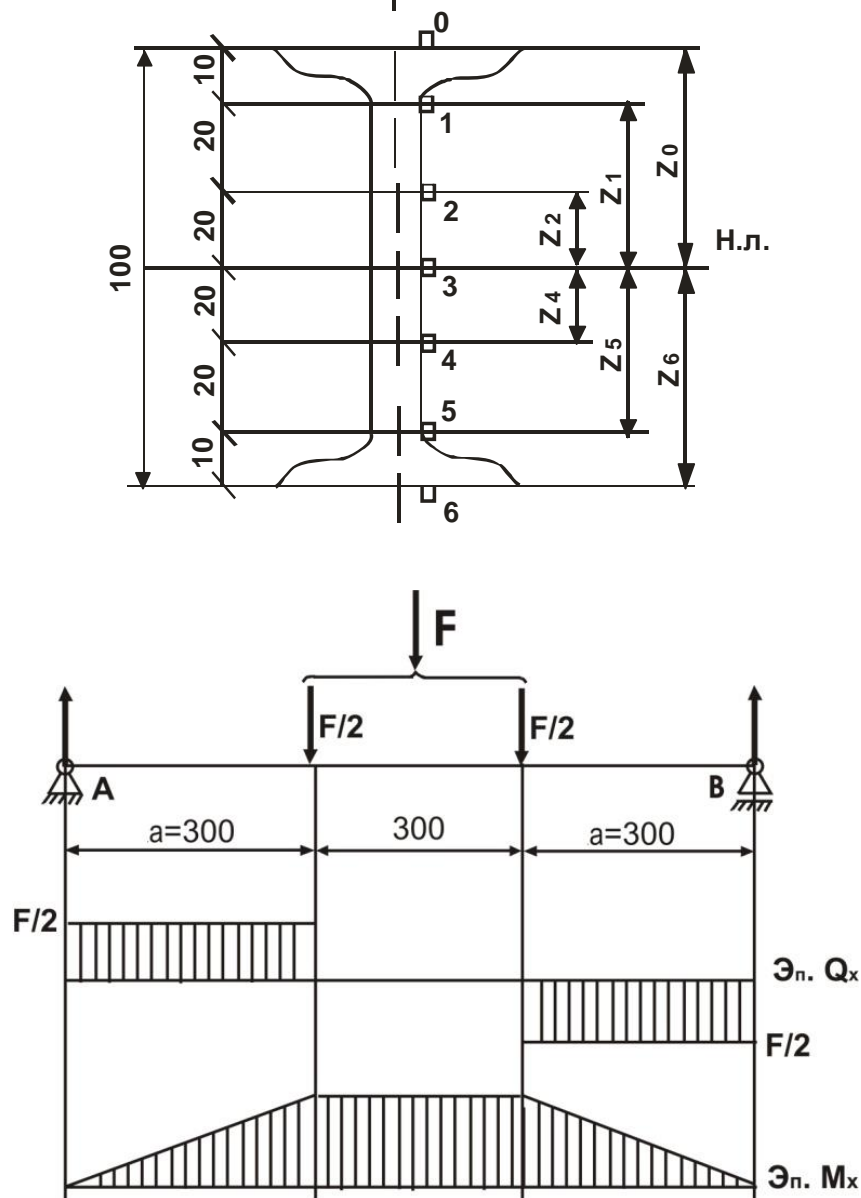
1.8 Порівняти експериментальні і теоретичні напруження, визначити закон розподілення напруження по висоті перерізу.

1.9 Заповнити звіт по роботі.

1.10 Відповісти на контрольні запитання.

2 Схема пристрою

2.1 Розрахункова схема балки



## 2.2 Дані пристрою

Довжина прольоту  $\ell = 900$  мм.

Відстань від опор до точки навантаження  $a = 300$  мм.

Величина навантаження  $F = 1 \dots 3$  кН.

## 2.3 Дані балки

Балка двотаврова № 10.

Ширина перерізу  $b = 38$  мм.

Висота перерізу  $h = 100$  мм.

$E = 0,7 \cdot 10^5$  МПа – модуль пружності матеріалу (алюміній).

$I_{н.л.} = 516913$  мм<sup>4</sup> – осьовий момент інерції перерізу.

## 3 Теоретичні розрахунки нормальних напружень

$$\sigma^T = \frac{M_{\max}}{J_x} \cdot z; \quad M_{\max} = \frac{\Delta F}{2} \cdot a =$$

$$\sigma_0^T =$$

$$\sigma_1^T =$$

$$\sigma_2^T =$$

$$\sigma_3^T =$$

$$\sigma_4^T =$$

$$\sigma_5^T =$$

$$\sigma_6^T =$$

## 3.1 Експериментальні напруження:

$$\sigma_i^e = E \cdot \alpha \cdot \Delta i_{cp}$$

$$\sigma_0^e =$$

$$\sigma_1^e =$$

$$\sigma_2^e =$$

$$\sigma_3^e =$$

$$\sigma_4^e =$$

$$\sigma_5^e =$$

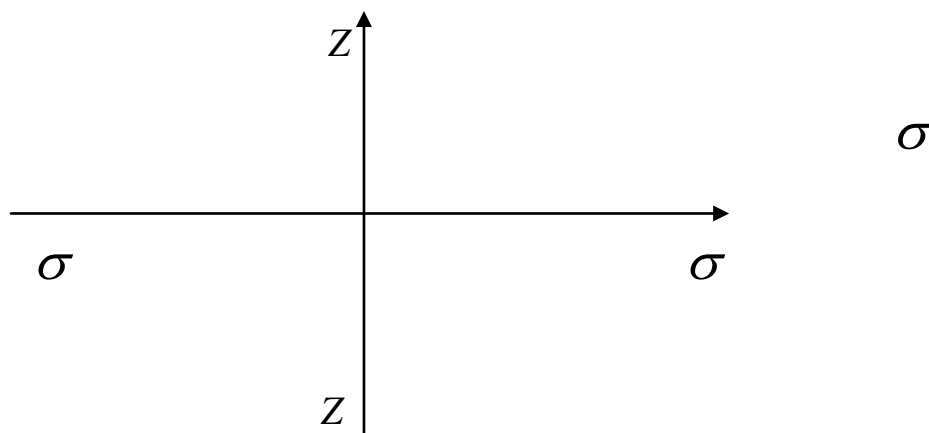
$$\sigma_6^e =$$

#### 4.0 Обробка результатів експерименту

Таблиця 1 – Журнал спостережень

№ тензорезисторів		0	1	2	3	4	5	6
Навантаження F	1 кН							
	2 кН							
	3 кН							
Зміна показань ВД	$\Delta i_1$							
	$\Delta i_2$							
	$\Delta i_{cp}$							
Експериментальне значення напружень	$\sigma^e$							

## 5 Епюри напружень



6 Висновки: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

## 7 Контрольні запитання

7.1 Який згин називають чистим? \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

7.2 Які силові фактори викликають нормальне напруження в поперечному перерізі балки? \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

7.3 Що таке нейтральний шар і нейтральна вісь і як вони розташовані? \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

7.4 Як розподілені нормальні напруження по перерізу балки? \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

7.5 Яка умова міцності балки при згині? \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Роботу виконав \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_  
(підпис) (прізвище, ім'я та по батькові)

Відмітка про залік \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_  
(підпис) (дата) (прізвище викладача)

#### **4 Критерії оцінювання лабораторної роботи**

Максимальна оцінка складає 10 балів. Оцінювання здійснюється шляхом тестування (письмового або за допомогою ПЕОМ) у відсотках від кількості вірних відповідей. Мінімальна прийнятлива кількість вірних відповідей складає 60% тобто 6 балів.

#### **Тести до теми «Експериментальна перевірка закону розподілу нормальних напружень по висоті перерізу балки»**

##### **1 Яка одиниця вимірювання напруження при згині?**

- а)  $\text{Н/м}^2$ ;
- б)  $\text{Н/м}$ ;
- в)  $\text{Н/м}^3$ ;
- г)  $\text{Н} \cdot \text{м}^2$ .

##### **2 Яка одиниця вимірювання модуля поздовжньої пружності матеріалу $E$ ?**

- а)  $\text{Н/м}^2$ ;
- б)  $\text{Н/м}$ ;
- в)  $\text{Н} \cdot \text{м}$ ;
- г)  $\text{Н} \cdot \text{м}^2$ ;

##### **3 Згин, при якому поперечна сила в перерізах балка дорівнює нулю називається:**

- а) чистим згином;
- б) поперечним згином;
- в) поздовжнім згином;
- г) плоским.

##### **4 Яка деформація називається пружною?**

- а) та, що зникає після розвантаження;
- б) та, що залишається після розвантаження;
- в) та, що виникає при навантаженні;
- г) та, що не виникає взагалі.

##### **5 Яка деформація називається пластичною?**

- а) та, що залишається після розвантаження;
- б) та, що зникає після розвантаження;
- в) та, що виникає при навантаженні;
- г) та, що не виникає взагалі.

**6 Момент внутрішньої пари, що складається з елементарних нормальних зусиль, які виникають в поперечному перерізі балки при згині називається:**

- а) згинальним моментом;
- б) крутильним моментом;
- в) зосередженим моментом;
- г) плоским моментом.

**7 Яка одиниця вимірювання згинального моменту?**

- а)  $\text{Н} \cdot \text{м}$ ;
- б)  $\text{Н/м}$ ;
- в)  $\text{Н/мм}^2$ ;
- г)  $\text{Н} \cdot \text{мм}^2$ .

**8 Як позначається допустиме напруження?**

- а)  $[\sigma]$ ;
- б)  $\sigma_T$ ;
- в)  $\sigma_{\max}$ ;
- г)  $\sigma_{II}$ .

**9 Зразки якого перерізу використовують при випробуванні матеріалів на згин?**

- а) двотаврового перерізу;
- б) круглого перерізу;
- в) прямокутного перерізу;
- г) довільного.

**10 Які силові фактори викликають нормальне напруження в поперечному перетині балки?**

- а) згинаючі моменти;
- б) зосереджені сили і розподілені навантаження;
- в) крутильні моменти;
- г) поперечні сили.

**11 Поверхня, що розділяє зону стиску від зони розтягу називається:**

- а) нейтральний шар;
- б) нейтральна вісь;
- в) площа перетину;
- г) головна вісь.

**12 Лінія перетину нейтрального шару з площиною поперечного перетину називається:**

- а) нейтральна вісь;
- б) нейтральний шар;
- в) лінія перетину;
- г) головна лінія.

**13 Як розподілені нормальні напруження по висоті перерізу балки?**

- а) по лінійному закону;
- б) по криволінійному закону;
- в) по параболічному закону;
- г) довільно.

**14 Який вид балки зображений на рисунку?**

- а) консольна;
- б) двохопорна з консоллю;
- в) двохопорна;
- г) багато опорна.



**15 Який вид балки зображений на рисунку?**

- а) консольна;
- б) двохопорна з консоллю;
- в) двохопорна;
- г) багато опорна.



**16 Який вид балки зображений на рисунку?**

- а) консольна;
- б) двохопорна з консоллю;
- в) двохопорна;
- г) багато опорна.



**17 Який вид балки зображений на рисунку?**

- а) консольна;
- б) двохопорна з консоллю;
- в) двохопорна;
- г) багато опорна.



## СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1 Добронравов В.В. Курс теоретической механики: учебное пособие для технических специальностей вузов / Добронравов В.В., Никитин Н.Н. – 2 издание - М.: Высшая школа, 1974.-630с.: ил.; - Библиогр.: с.622-626. – Пред. указ.: с. 627-630.

2 Тарг С.М. Короткий курс теоретической механики: учебное пособие для технических специальностей вузов / под редакцией проф. С.М. Тарга – 3 издание - М.: Высшая школа, 2001.-580с.: ил.; - Библиогр.: с.572-578. – Пред. указ.: с. 579-580.

3 Яблонский А.А. Курс теоретической механики: учебное пособие для технических специальностей вузов / Добронравов В.В., Никитин Н.Н. – 2 издание - М.: Высшая школа, 1978.-725с.: ил.; - Библиогр.: с.712-721. – Пред. указ.: с. 722-725.

5 Иосилевич Г.Б., Строганов Г.Б., Маслов Г.С. Прикладная механика :Учеб.для вузов/ под ред. Г.Б. Иосилевича. – М.: Высш. шк., 1989. – 351 с.

6 Беляев Н.М. Соппротивление материалов. - М: Наука, 1976.-590 с.

7 Цурпал І.А. Механіка матеріалів і конструкцій: Навч. посібник. – К.: Вища освіта, 2005. – 367 с.: іл.

8 Механіка матеріалів і конструкцій. Лаб. роботи. Навч. посібник для вузів / Цурпал І.А., Пастушенко С.І. і др.- Київ: Аграрна освіта, 2001.-272 с.

9 Писаренко Г.С. Опір матеріалів: Підручник/ Г.С. Писаренко, О.Л. Квіт, Е.С. Уманський; За ред. Г.С. Писаренка. –К.: Вища шк.1993.-655с.:іл.

10 Гурняк Л.І. Опір матеріалів /Л.І.Гурняк, Ю.В.Гуцуляк, Т.В. Юзьків –Львів: "Новий світ - 2000", 2006. - 364 с.